

1999 B

086521717

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD, POR LA EMISIÓN DEL POLVO GENERADO EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE ROCA, ESTUDIO DE CASO EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE AGREGADOS PARA EL CONCRETO, UBICADA EN TONALÁ, JALISCO. 2000-2005.**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**BIOL. ALMA GUADALUPE CRUZ HERNÁNDEZ**

**ZAPOPAN, JALISCO, ENERO DE 2006.**



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Centro Universitario de Ciencias de la Salud  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD AMBIENTAL**

**COMITÉ DE TESIS**

DRA. MARTHA GEORGINA OROZCO MEDINA

**P R E S E N T E:**

Por medio de la presente nos permitimos informar a Usted(es), que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realizó el (la) pasante:

**ALMA GUADALUPE CRUZ HERNÁNDEZ**


Con el título: Evaluación del Riesgo a la Salud, por la Emisión del Polvo Generado en el Proceso de Trituración de Roca, Estudio de Caso en una Planta Productora de Agregados para el Concreto, ubicada en Tonalá, Jalisco. 200-2005.

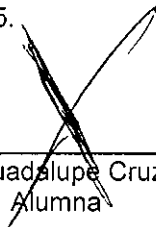
Manifestamos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorización de impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva brindar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

Las Agujas, Zapopan, Jalisco a 9 de diciembre de 2005.

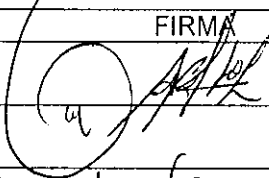
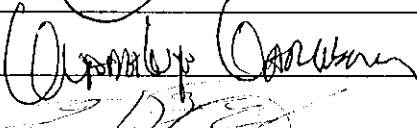
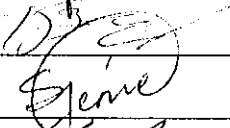
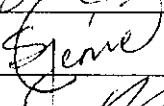
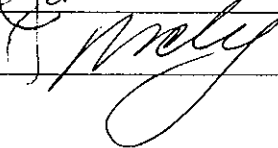
  
M. en C. Roberto Maciel Flores  
Director del trabajo de Tesis

  
Biol. Alma Guadalupe Cruz Hernández  
Alumna

Asesores:

\_\_\_\_\_  
Dra. Martha Georgina Orozco Medina  
\_\_\_\_\_  
Nombre

\_\_\_\_\_  
Firma  
\_\_\_\_\_  
Firma

SINODALES	FIRMA
1. Alberto Jiménez Cordero	
2. Arturo Guzmán Boltesano	
3. Guadalupe Guadalupe Orosco	
4. Roberto Maciel Flores	
5. Mtra. Silvia G. León Cortés	
6. Suplente Dra. Rosalinda Leticia Schemman León	

## ÍNDICE.

1. Resumen .....	1
2. Introducción .....	3
3. Justificación .....	5
4. Objetivos .....	8
5. Marco teórico conceptual .....	9
5.1. Riesgo .....	9
5.1.1. Análisis de riesgo .....	11
5.1.2. Evaluación de riesgos .....	11
5.1.3. Manejo de los riesgos .....	13
5.2. Polvos y sus efectos en el Ambiente .....	13
5.2.1. Fuentes de emisión de polvos .....	14
5.2.2. Generación de polvos en la industria minera .....	15
5.2.3. Métodos para la medición de la concentración de polvos.....	19
5.2.4. Normatividad ambiental con respecto a la concentración de polvos (partículas suspendidas totales) en el aire ambiente.....	24
5.3. Efectos a la salud por la exposición a polvos.....	25
5.3.1. Rutas de absorción de polvos en el ser humano.....	31
5.3.2. Proceso de absorción de polvos en el ser humano .....	33
5.4. Descripción de la zona de estudio.....	36
5.4.1. Localización.....	36
5.4.2. Descripción del medio natural.....	37
5.4.3. Descripción del medio socioeconómico.....	44
5.4.4. Caracterización del sitio en donde se ubica la PPAC.....	46
5.4.5. Caracterización del proceso productivo de la PPAC.....	47
6. Metodología.....	51
7. Resultados.....	61
7.1. Caracterización y evaluación de la amenaza por exposición a polvos .....	61
7.1.1. Análisis del material pétreo de la zona de estudio.....	61
7.1.2. Identificación y caracterización de los puntos de emisión de polvos.....	61
7.1.3. Determinación de la concentración de polvos.....	66
7.1.4. Determinación de síntomas relacionados con la exposición a polvos en trabajadores de la PPAC.....	70
7.1.5. Evaluación de la amenaza por exposición a polvos.....	73
7.2. Análisis de la vulnerabilidad de los trabajadores de la Planta Productora de Agregados para el Concreto.....	74
7.2.1. Caracterización de la población en estudio.....	74
7.3. Evaluación de la vulnerabilidad de los trabajadores de la Planta Productora de Agregados para el Concreto.....	76
7.3.1. Análisis de la Demanda.....	76
7.3.2. Análisis de la Oferta.....	78
7.3.3. Niveles de valoración de la vulnerabilidad.....	79
7.4. Evaluación del riesgo a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca.....	80
8. Conclusiones.....	82

8.1 Amenaza.....	82
8.2. Vulnerabilidad.....	83
8.3. Riesgo.....	84
9. Discusiones .....	86
10. Recomendaciones .....	89
11. Bibliografía.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS.

5.1.	Gráfica de tamaño de partículas.	20
5.2.	Equipo utilizado para muestreo de tipo personal.	22
5.3.	Esquema de un muestreador de alto volumen tipo Hi-Vol, utilizado para muestreo ambiental.	23
5.4.	Esquema del sistema respiratorio del ser humano.	34
5.5.	Esquema de células ciliadas.	34
5.6.	Proceso de absorción de polvos en el sistema respiratorio humano.	35
5.7.	Croquis de localización de la zona de estudio.	36
5.8.	Delimitación de áreas dentro de la zona de estudio.	46
5.9.	Delimitación de la zona crítica.	47
5.10.	Representación gráfica del proceso productivo de una PPAC e identificación de fuentes de emisión de polvos.	48
7.1.	Velocidad final de sedimentación las partículas en base a la ley de Stokes.	63
7.2.	Identificación de fuentes de emisión de polvos en la PPAC.	65
7.3.	Identificación de la principal fuente de emisión de polvos en la PPAC.	66
7.4.	Resultados del muestreo ambiental.	67
7.5.	Identificación de concentraciones de polvos en los puntos de muestreo en el área crítica de la zona de estudio.	68
7.6.	Resultados del muestreo personal.	69
7.7.	Síntomas reportados por los trabajadores por puesto de trabajo.	72
7.8.	Porcentaje de distribución de los síntomas reportados por los trabajadores de la PPAC, por puesto de trabajo.	73
7.9.	Clasificación cualitativa del riesgo.	81

## ÍNDICE DE TABLAS.

5.1.	Factores de emisión no controladas de partículas provenientes de operaciones de trituración en plantas de trituración de rocas.	18
5.2.	Factores de emisión para emisiones no controladas de partículas provenientes de fuentes de polvo fugitivos en plantas de trituración de roca.	18
5.3.	Capacidad de sedimentación de las partículas.	19
5.4.	Valores normados para la exposición a polvos.	25
5.5.	Prevención de mortalidad mediante la reducción de la concentración media de PM 10.	28
5.6.	Valores estándares normados para la exposición a polvos en la población de Estados Unidos.	33
5.7.	Valores normales recomendados para ingesta diaria de aire en el ser humano.	33
5.8.	Porcentaje en cobertura de pastizal inducido.	41
5.9.	Listado de especies vegetales encontradas en mayor proporción.	41
5.10.	Listado de la fauna observada y potencial en la zona de estudio.	42
5.11.	Instituciones de salud en el municipio de Tonalá.	45
6.1.	Criterios para la evaluación de la amenaza.	52
6.2.	Niveles de Amenaza.	53
6.3.	Puntaje respecto a grupos etéreos.	54
6.4.	Puntaje respecto a estrato socioeconómico.	54
6.5.	Puntaje respecto a antigüedad en el trabajo.	55
6.6.	Puntaje respecto al % de trabajadores con patologías relacionadas con exposición a polvos.	55
6.7.	Periodicidad en el uso de equipo de seguridad por parte de los trabajadores de la PPAC.	55
6.8.	Periodicidad en el uso del servicio médico.	56
6.9.	Periodicidad de dotación de equipo de seguridad adecuado.	56
6.10.	Periodicidad con la que se capacita el personal.	56
6.11.	Estado físico de la Infraestructura y equipo de la PPAC.	57
6.12.	Labores para la mitigación de emisiones de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca.	57
6.13.	Periodicidad con la que se brindan servicios médicos especializados a los trabajadores de la PPAC.	57
6.14.	Frecuencia con la que se cuenta con un sistema de vigilancia epidemiológica.	58
6.15.	Niveles para cuantificar y valorar la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC.	58
6.16.	Niveles de Riesgo.	58
6.17.	Nivel de exposición potencial.	59
6.18.	Efectos de la sustancia química a la salud.	59
6.19.	Clasificación cualitativa del riesgo.	60

7.1.	Componentes principales de la roca presente en la zona de estudio.	61
7.2.	Componentes secundarios de la roca presente en la zona de estudio.	62
7.3.	Velocidad final de sedimentación de las partículas calculada en base a la ley de Stokes.	70
7.4.	Relación de los síntomas reportados por los trabajadores de la PPAC.	71
7.5.	Síntomas con mayor porcentaje de distribución reportados por los trabajadores de la PPAC.	71
7.6.	Trabajadores que presentan síntomas relacionados con la exposición a polvos.	73
7.7.	Resultados de la evaluación de la amenaza por emisión de polvos.	74
7.8.	Características de la población de la zona de estudio.	74
7.9.	Grupos de edad en la PPAC.	75
7.10	Grupos de trabajadores en la PPAC, conforme a su antigüedad.	75
7.11.	Evaluación de la Demanda.	77
7.12.	Resultados del análisis de los parámetros de Oferta.	79
7.13.	Parámetros de demanda observados en los trabajadores de la PPAC.	79

## CAPÍTULO 1. RESUMEN.

Durante el proceso de trituración de roca, que se realiza como una de las actividades principales de una Planta Productora de Agregados para el Concreto (PPAC), se generan grandes volúmenes de polvo, que incrementan la cifra de 2 miligramos en promedio de polvo al día que un medio urbano inhalan las personas<sup>18</sup>, así como los subsecuentes riesgos a la salud de las personas que se concentran en ese lugar y en sus alrededores, lo que torna necesario evaluar los riesgos que implica la exposición a polvos y la eficacia de las medidas de mitigación que respecto al área de salud se implementan.

Por lo anterior, la presente investigación de tipo descriptivo, observacional y transversal, se realizó con el objetivo de evaluar el riesgo a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca, en los trabajadores de una Planta Productora de Agregados para Concreto (PPAC), ubicada en Tonalá, Jalisco, durante el periodo 2000-2005, para lo cual fue necesario caracterizar y la amenaza por exposición a polvos y la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC,

Se determinó mediante el análisis del material geológico, que el contenido de sílice en la muestra es menor al límite máximo permisible señalado en la Norma Oficial Mexicana: NOM-10-STPS-1999, por lo que los polvos en la zona de estudio se consideraron como partículas para las que no existe evidencia de efectos tóxicos específicos (NEOM). Sin embargo, no se descartó el riesgo de neumoconiosis, específicamente de silicosis, por lo que se practicó una prueba de función pulmonar por espirometría y PA de tórax al trabajador con mayor edad y antigüedad en la empresa, mismo que en la encuesta reportó un mayor número de patologías, resultando con función pulmonar y de tórax normal. Lo que indicó que las principales afectaciones a la salud debidas a la exposición a polvos, están relacionadas con el daño a las vías respiratorias superiores, pero no se descarta que en un futuro los trabajadores presenten síntomas de neumoconiosis, dado que dichas afecciones pueden manifestar más de 20 años después de la exposición.

Posterior a la identificación de las fuentes de emisión de polvos y delimitación del área crítica, se realizaron muestreos de tipo personal y ambiental, para determinar las concentraciones de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, a partir de los cuales se identificaron concentraciones de polvos que excedieron hasta 17 veces el límite máximo permisible estipulado en las Normas Oficiales Mexicanas, siendo las áreas de limpieza del equipo de trituración y de transporte de material resultante de la trituración terciaria por medio de trascabo donde se presentaron concentraciones de polvo que rebasaron el límite máximo permisible de exposición.

Mediante el análisis de resultados de las encuestas realizadas, se identificó que más del 36 al 41% de los trabajadores reportaron afectación de ojos en oído nariz, garganta y sistema digestivo, pero no manifestaron síntomas de afectación en los pulmones. Así mismo, el análisis de varianza realizado no indica diferencias



significativa al relacionar los síntomas reportados entre ellos, así como con la edad, sexo, puesto de trabajo, antigüedad. Solo se identificó al momento de relacionar la exposición con los síntomas

Con lo anterior, se determinó que el nivel de amenaza derivada de la emisión de polvos producto de la trituración de roca es ligeramente alto y el de la vulnerabilidad es medio, pero se puede incrementar si se continúa con el uso inadecuado del equipo de protección y si no se incrementan las medidas necesarias de seguridad e higiene en el centro de trabajo, por lo que el riesgo a la salud, por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca en la PPAC, puede disminuir con la implementación de medidas encaminadas a la mitigación de las emisiones de polvo a la atmósfera y el correcto uso del equipo de protección.

## CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN.

Las personas que trabajan o habitan en ambientes donde existen altas concentraciones de polvo son más propensas a contraer severas afecciones en los ojos, en el sistema respiratorio (superior e inferior) y en el aparato digestivo, ya sea directamente por el contacto y la inspiración de gases y partículas, o indirectamente por la ingestión de comida contaminada por el aire viciado<sup>9,31,17</sup>, siendo más propensas que aquellas que no se encuentran bajo estas condiciones, el grado de afectación a la salud dependerá de diversos factores, como son: la susceptibilidad (vulnerabilidad) del individuo: edad, género, estilo de vida, etc., así como los relativos al agente tóxico, productor de la amenaza, tales como: propiedades físico-químicas del agente, concentración (dosis), tiempo de exposición y frecuencia, parámetros que deben ser analizados en conjunto con los factores que integran el ambiente en donde se localiza la población expuesta. Por lo que el presente estudio surge de la necesidad de evaluar la eficacia de las medidas que en materia de emisión de polvos a la atmósfera se implementan para prevenir y mitigar los riesgos a la salud a los que se encuentran expuestos los trabajadores de una Planta Productora de Agregados para el Concreto (PPAC), ubicada en Tonalá, Jalisco, debido a que en ella se tritura la roca que se obtiene de un banco de material geológico localizado dentro de sus instalaciones a una granulometría semejante a la arena, proceso que genera emisiones de polvo que sin la implementación de medidas técnicas adecuadas, exceden en mucho el límite máximo permisible enunciado en la legislación ambiental vigente.

Tal es el caso que se estudia en esta ocasión, donde se identificaron concentraciones de polvo de hasta diez y siete veces por encima del límite máximo permisible de exposición, corroborándose mediante el muestreo personal de polvos que los trabajadores que realizan labores de limpieza de la maquinaria de trituración y los que manejan el trascabo, por su mayor cercanía y contacto directo con la fuente emisora, fueron quienes alcanzaron concentraciones arriba del límite máximo permisible establecido en la NOM-010-STPS-1999, reportando patologías relacionadas con la presencia en el ambiente de partículas de polvo mayores de 10 micras, como son: irritación de ojos (el 41% de los casos), y afecciones a sistema respiratorio superior (36.6% de los casos), el mismo porcentaje mostraron trabajadores con padecimiento en sistema digestivo. Estas patologías se presentaron independientemente de la antigüedad de los trabajadores, ya que fueron reportadas tanto por trabajadores cuya antigüedad era de 1 o 2 meses, así como por trabajadores con mas de 50 años de antigüedad. Sin embargo, estos últimos presentaron un mayor número de patologías.

Los factores que se analizaron por considerar que influyen en la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC fueron identificados conforme a los siguientes parámetros de demanda: estructura según la edad, estrato socioeconómico, antigüedad en el trabajo, presencia de patologías relacionadas con la exposición a polvos, uso de equipo de seguridad y uso del servicio médico, así mismo, se identificaron los siguientes parámetros de Oferta: dotación del equipo especializado de seguridad, capacitación, infraestructura y equipo para la

mitigación de polvos en la PPAC. Al relacionar la presencia de patologías con la amenaza por la exposición a polvos derivados de la trituración de roca, se identificó el incremento en la vulnerabilidad de la población, con el consecuente incremento del riesgo en su salud. Situación que se minimizó con la implementación de medidas tendientes a la mitigación de la emisión de polvos a la atmósfera, así como con el adecuado uso del equipo de protección, como por ejemplo: mascarillas, tapabocas, etc.).

### CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN.

Actualmente, cientos de millones de personas que habitan en nuestro planeta sufren de diversas enfermedades asociadas con la contaminación del aire. Cada día el ser humano inhala 15,000 litros de aire y junto con él, cientos de partículas que pueden estar formadas por una combinación de polvo, pólenes, mohos, suciedad, tierra, cenizas, hollín, etc., que son captados por los pulmones y sistema respiratorio general, el cual tiene la potencialidad de retener cualquier sustancia nociva en el aire <sup>1</sup>.

Sin embargo, a pesar de su evolución y mecanismos anatómo-fisiológicos para su defensa, el ser humano se encuentra en riesgo de sufrir daño a su salud, principalmente debido a que, por sus diversos orígenes, la variedad de polvos es inmensa y tiende a crecer con la creación de nuevos materiales sintéticos antes desconocidos por el organismo humano, lo que conlleva a que centenares de millones de personas se expongan a peligros físicos y químicos innecesarios en el lugar de trabajo y el ambiente en general.

En un medio urbano las personas inhalan cerca de 2 miligramos de polvo al día, cifra que se amplifica con el gran incremento de las actividades que durante su proceso emiten grandes volúmenes de polvo y partículas a la atmósfera <sup>18</sup>. Tal es el caso de la minería no metálica, que como muchas otras actividades productivas, representa un importante factor de riesgo a la salud, debido a que durante su proceso, que se realiza a cielo abierto, se genera contaminación por polvos y ruido, disminución de la calidad de paisaje, modificación a la geomorfología, generación de residuos, pérdida de capa orgánica, modificación de la topografía natural, pérdida de cubierta vegetal y modificación del hábitat, los cuales constituyen importantes impactos negativos al ambiente <sup>20</sup>.

Solo en México, la Secretaría de Salud ha observado un exceso de mortalidad asociada a niveles elevados de contaminación por partículas suspendidas totales (PST), en especial en la población mayor a 65 años <sup>41</sup>. Estudios realizados en el Distrito Federal por la Comisión Ambiental Metropolitana en 1996, muestran que las partículas PM10 se asocian con una mayor presencia de síntomas respiratorios, así como con el desarrollo de crisis asmáticas, lo que es reflejo del riesgo a la salud prevaleciente <sup>2</sup>. El riesgo de que un mayor número de personas resulten afectadas en su salud, se incrementa con el acelerado crecimiento poblacional y el consecuente proceso de urbanización que cada vez es mayor, dado que en el último censo realizado en México, se observa un aumento del 7.4% en la población de 20 a 44 años de edad <sup>11</sup>, que como ya se sabe es la etapa más fértil, de mayor demanda de empleo, servicios y por consiguiente vivienda. Este acelerado crecimiento demográfico, se manifestó en ciudades como Tonalá, en donde sólo por migraciones, durante un periodo de 5 años (1995–2000) el aumento poblacional fue de 65,292 habitantes <sup>22</sup>.

De lo anterior se deriva la necesidad de mayor generación de vivienda, equipamiento, infraestructura y empleo de personal ligado a la industria de la construcción, así como un incremento en el aprovechamiento de mayor cantidad de productos necesarios para la construcción de inmuebles, como lo es el material geológico, para ello se establecen bancos de material geológico, los cuales ocupan el 55% del total de los proyectos que la Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable evaluó durante el periodo 2001 a 2003. Se identificó que de los 606 Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos de bancos de material geológico evaluados, el 39% se localiza en la Región Centro, de los cuales en el 5% se realiza el aprovechamiento de piedra o roca, coloquialmente denominados "pedreras". El proceso extractivo, es decir, la vida útil de las pedreras, requiere de decenas de años, por lo que la mancha urbana se ha establecido en la cercanía de muchos de estas industrias a pesar de las consecuentes afectaciones que ello implica, dado que las personas que trabajan o habitan en ambientes donde existen altas concentraciones de polvo son más propensas a contraer enfermedades respiratorias a <sup>6, 14, 42</sup>.

Para satisfacer la demanda de material para la construcción, se requiere del aprovechamiento de mayores volúmenes del material geológico y de la implementación de maquinaria y equipo especializados para triturar piedra a una granulometría cada vez más fina y similar a la arena. Las Plantas Productoras de Agregados para el Concreto (PPAC), que adquieren la materia prima (roca) de bancos de material geológico, localizados en la mayoría de los casos dentro de sus instalaciones, para posteriormente triturarla.

Este proceso origina emisiones de polvo que ya han sido objeto de quejas por parte de la población aledaña a estas industrias, debido a que los habitantes del lugar se establecen cada vez más cerca de sus instalaciones, lo que hace previsible que consecuentemente se incremente la población susceptible a ser afectada en su salud, principalmente si se toma en consideración que seis de cada diez personas que viven en grandes ciudades están expuestas a niveles de contaminación fuera de los límites permisibles aptos para la salud humana, en un gran número de días al año <sup>1</sup>. Razón por la cual las personas que laboran en las PPAC, pueden estar expuestas a riesgos a la salud por la emisión de polvos producto de la trituración de roca.

En el ámbito laboral, las expectativas de los trabajadores y los empleadores, en materia de riesgos de trabajo se orientan a impulsar decididamente la prevención <sup>11, 23, 24, 27, 28, 29</sup>, para lo que es muy útil la realización de estudios encaminados a la evaluación de riesgos a la salud, ya que a partir de dichos estudios, se puede estimar probabilidad y severidad con que se puede producir un daño para la salud humana y el ambiente, como consecuencia de la realización de una actividad o exposición a una sustancia.

En base a lo anterior, el presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar los riesgos a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca, en los trabajadores de una Planta Productora de Agregados para el Concreto

(PPAC), ubicada en Tonalá, Jalisco, tomando en consideración que ... *“La posibilidad de resolver un problema de salud, depende de la identificación plena del mismo; por lo tanto, es necesario evaluar los riesgos a la salud por exposición a agentes potencialmente dañinos a la salud del hombre. Esta evaluación debe hacerse tanto en la población general como en aquella que está expuesta laboralmente al factor de riesgo”*<sup>29</sup>, a fin de disminuir el número de personas que mueren cada día (137 en promedio) como resultado de enfermedades laborales, cantidad que excede en más de ocho veces el número de personas que muere por accidentes de trabajo<sup>9\*</sup>.

## CAPÍTULO 4. OBJETIVOS.

### **Objetivo General:**

Evaluar el riesgo a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca, en los trabajadores de una Planta Productora de Agregados para Concreto (PPAC), ubicada en Tonalá, Jalisco, durante el periodo 2000-2005.

### **Objetivos Específicos:**

1. Identificar y evaluar la amenaza por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca, a través de la caracterización de la zona crítica de emisión de polvos en la PPAC, y de la determinación de las concentraciones de polvos en el ámbito laboral, en base a las Normas Oficiales Mexicanas.
2. Analizar la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC, a los polvos generados durante el proceso de trituración de la roca.
3. Evaluar el riesgo a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca, en una PPAC ubicada en Tonalá, Jalisco, durante el periodo 2000-2005.

## CAPÍTULO 5. MARCO TEORICO - CONCEPTUAL.

### 5.1. Riesgo.

Es la probabilidad de que se genere destrucción o pérdidas humanas, materiales y económicas, así como la afectación significativa al ser humano y al ambiente, debido al grado de exposición de una población, ecosistemas o cualquier elemento sometido a peligros naturales o antropogénicos (amenaza), y a la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por la ocurrencia de un evento <sup>7,12</sup>. El riesgo se obtiene a partir de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas. Matemáticamente se expresa como el resultado de la siguiente ecuación <sup>3,12,57</sup>:

$$R = A \times V, \text{ donde:}$$

R = Riesgo

A = Amenaza

V = Vulnerabilidad

La amenaza, es la probabilidad de que ocurra un fenómeno que produzca efectos potencialmente dañinos sobre la salud humana, sus bienes y al medio ambiente dentro de un área y período de tiempo dado <sup>7, 12, 57</sup>. La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza se relaciona con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales está íntimamente relacionadas no solo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento.

Las amenazas que pueden afectar al ser humano y demás seres vivos se clasifican en naturales y antrópicas, dado que pueden ser causadas por el hombre (antrópicas, ej. explosiones, contaminación química, etc.) o por eventos naturales (ej. inundaciones, erupciones volcánicas, etc.). Sin embargo, no se descarta que un desastre puede ser generado debido a una combinación de amenazas naturales y antropogénicas, como podría ser: el deslizamiento de una ladera o el represamiento de un arroyo al construir un fraccionamiento o un simple camino; o bien la inundación de una región al construir o desbordarse una presa. Los efectos de una amenaza se ven reflejados principalmente en el número de muertes y pérdidas económicas. A partir de estos niveles se puede establecer un nivel de consecuencias de las amenazas, estos niveles son <sup>7,12,57</sup>.

1. **Imperceptible.** Este nivel, se establece cuando los efectos de una amenaza son tan leves que no se pueden percibir.
2. **Moderado.** El nivel de consecuencia moderado se establece cuando no se detectan efectos de manera inmediata, pero hay posibilidades de que se



presenten efectos crónicos o a largo plazo debido a su acumulación o aumento de intensidad.

3. **Alto.** Las amenazas tienen un nivel de consecuencia alto cuando producen daños a la salud, al ambiente o a la propiedad pero sus niveles de impacto son aislados y no afectan la totalidad de las funciones de la sociedad.
4. **Desastre.** Las amenazas pueden tener un nivel de desastre cuando su manifestación provoque una interrupción seria de las funciones de la sociedad, causa pérdidas humanas, materiales o ambientales extensas que excedan la capacidad de la sociedad afectada, para recuperarse usando sólo sus propios recursos. En este caso, las personas se afectan indirectamente al perder independencia y libertad de acción.
5. **Catástrofe.** Es el nivel en donde se clasifican a las amenazas que generan mayores consecuencias que afectan al ser humano y al ambiente. Este nivel se considera para las amenazas que alteran gravemente el orden regular de la sociedad y su entorno. Dicha alteración, se debe principalmente a que estos eventos generan un alto número de víctimas y daños severos a la población, la cual es impactada en su mayoría o en su totalidad por una interrupción simultánea de sus actividades cotidianas. Como ejemplo de esto se tiene a los eventos volcánicos y a los terremotos.

La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o predisposición intrínseca de las personas, la sociedad y/o el ambiente a sufrir un daño o una pérdida. Se expresa generalmente en términos de daños o pérdidas potenciales que se espera se presenten de acuerdo con el grado de severidad o intensidad del fenómeno ante el cual se está expuesto<sup>35,7</sup>. La determinación del grado de vulnerabilidad que presenta una población, así como los servicios con los que cuenta en caso de un desastre, se basa en el análisis de la demanda de la población y de la oferta de servicios de salud.

La demanda es el resultado de examinar las características de una población y su infraestructura. Este parámetro se refiere a las necesidades de servicios de la población en situaciones de desastre, mismas que están dadas a partir de las características específicas de los grupos de población con respecto a parámetros demográficos y de infraestructura existentes en la zona. La oferta de los servicios de salud, es el resultado de analizar la capacidad de los servicios de salud, tomando en cuenta la amenaza como factor condicionante de la demanda potencial en caso de ocurrencia de un desastre. En dicho análisis se debe tomar en cuenta la organización de los servicios de salud, la accesibilidad, la oportunidad, así como el costo de dichos servicios, dado que son características importantes que condicionan la atención a la salud de la población.

En pocas palabras, ser vulnerable es ser susceptible de sufrir daños y tener dificultad de recuperarse de ello<sup>42</sup>. Es por esto que la magnitud del daño real

provocado por un fenómeno es mayor si la población carece de recursos a partir de los cuales pueda recuperarse en caso de ocurrir un desastre, recursos pueden ser: económicos (Ahorros, seguro, propiedad de tierras, etc.), naturales (formación, criterios técnicos, elementos básicos de seguridad, conocimientos sobre las funciones de cada organismo de ayuda, etc.) o sociales (organización, experiencia de trabajo conjunto, participación comunal, etc.).

En resumen, el riesgo se conoce como la posibilidad de sufrir un daño por la exposición a un peligro o fuente del riesgo, entendido como una sustancia o a una acción que puede causar daño. Para calificar un riesgo desde el punto de vista de su gravedad, se valoran conjuntamente la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo, lo cual es de gran ayuda en el ámbito laboral, principalmente cuando es grave e inminente, es decir, que probablemente se materialice en un futuro inmediato y pueda suponer un daño grave para la salud de los trabajadores aun cuando los daños no se manifiesten de forma inmediata <sup>6</sup>, principalmente porque esta valoración se refleja en los días de incapacidad que se les otorga a los trabajadores como consecuencia de accidentes o enfermedades derivadas del desempeño laboral y la consecuente pérdida económica que implica el incremento de los días de incapacidad temporal, de la tasa de casos de incapacidad prolongada, así como la tasa de invalidez permanente derivada de riesgos de trabajo, tendencia que tiende a disminuir con la aplicación de medidas preventivas que involucren criterios epidemiológicos y clínicos.

### **5.1. 1. Análisis de Riesgo.**

El análisis de riesgo, se ha usado frecuentemente como un sinónimo de evaluación de riesgos. Debe de interpretarse que además de la evaluación, el análisis incluye los métodos para hacer un mejor uso de los resultado de la evaluación. Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente, incluyendo: la introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente, la exposición ocupacional a una sustancia o radiación, contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior, disposición de residuos peligrosos, presencia de sustancias peligrosas en la cadena alimentaria, así como las instalaciones que manejan o crean sustancias tóxicas. El análisis de riesgos también se puede aplicar a muy diferentes situaciones, por ejemplo, el riesgo asociado al uso de un producto farmacéutico o tratamiento médico, a la construcción de obras tales como presas y puentes etc.

### **5.1.2. Evaluación de Riesgos.**

La evaluación de riesgos, es un proceso metodológico que permite determinar la naturaleza y magnitud del riesgo, para lo cual se requiere estimar la probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, para lo cual es necesario

conocer la relación que existe entre dichos fenómenos y la salud de la población expuesta.

Específicamente, la evaluación de riesgos a la salud, es una metodología para determinar la probabilidad de que la exposición a una sustancia tóxica, o una condición física pueda tener efectos adversos a los humanos y al ambiente, y para estimar cuantitativamente y cualitativamente la magnitud anticipada de cualquiera de tales efectos. El propósito de estos estudios es determinar si algún factor ambiental u otro factor de riesgo está realmente asociado con el problema o efecto de interés, en ellos se identifican cuatro técnicas, que aunque distintas están muy relacionadas: 1) evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, 2) evaluación de dosis/respuesta, 3) evaluación de la exposición y 4) caracterización del riesgo<sup>J</sup>. Por tanto, la evaluación de riesgos se desarrolla en cuatro etapas:

1. **Identificación del peligro.** Se identifican los peligros y se describe cualitativamente la amenaza con base en los resultados relevantes de la investigación toxicológica, los estudios epidemiológicos y la verificación en campo del sitio de estudio, que involucra estudios descriptivos para conocer los problemas actuales, con lo que se puede realizar la evaluación de la fuente o mecanismo de emisión.
2. **Evaluación dosis-respuesta.** Se establece una relación entre la exposición o dosis absorbida y un peligro para la salud asociado. A esta segunda etapa se le conoce como evaluación de la dosis respuesta, misma que debe describir y justificar los métodos de extrapolación empleados.
3. **Estimación de la exposición.** Se mide la exposición, identificando las vías de exposición, estimando el ingreso al organismo por las diferentes vías y obteniendo la información demográfica para caracterizar la población expuesta. Los datos de mediciones de terreno suministrados por los sistemas de vigilancia y monitoreo se obtienen para evaluar la calidad del ambiente. La integración de estos datos proporciona una estimación de los niveles de exposición actuales, con lo que se puede realizar la evaluación de la exposición.
4. **Caracterización del riesgo.** Se realiza la caracterización del riesgo y evaluación del riesgo, integrando las tres primeras etapas, de tal forma que preferentemente se obtenga un estimado cuantitativo del riesgo en la población expuesta, o estimados de los riesgos potenciales bajo diferentes escenarios de exposición posibles. Si ocurren diferentes efectos en la salud, el riesgo de cada uno de éstos debe ser caracterizado.

Estas últimas tres etapas requieren de estudios analíticos para obtener información más amplia sobre posibles factores causales, estudios de intervención para evaluar posibles tratamientos y el desarrollo de la vigilancia.

### **5.1.3. Manejo de los Riesgos.**

El realizar un manejo de los riesgos que puedan afectar a la salud de una población implica mitigar, y si es posible eliminar, los efectos adversos que puedan producirse como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno que signifique una amenaza. Para ello, previamente es necesario realizar una evaluación de riesgos, mediante la cual se valoren los posibles efectos en la población, como resultado de la exposición a sustancias y a otros peligros potenciales, para posteriormente diseñar la respuesta de control, reducción o eliminación de riesgos, utilizando la información producida por la evaluación y el análisis, en el contexto de los recursos técnicos, valores sociales, económicos y políticos.

La diferencia entre evaluación y manejo de riesgos no es muy clara. La controversia se centra en el grado en el cual la evaluación se puede mantener libre de los juicios y valores que típicamente corresponden a las decisiones de manejo. Las percepciones de los riesgos son factores importantes que influyen tanto a la evaluación como al manejo. Los riesgos se perciben en forma diferente, dependiendo de quiénes son los afectados, qué tan probable es que los daños se produzcan, las características de los daños, tal cómo: qué tan catastróficos son, qué tan acostumbrada está la población a ese tipo de daño, qué tan grande es la fracción de la población afectada, cómo se afecta a los individuos en forma personal y si éstos han aceptado en forma voluntaria enfrentar los riesgos. Las percepciones de los riesgos están influenciadas por los beneficios que se obtienen de enfrentar tales riesgos.

### **5.2. Polvos y sus efectos en el Ambiente.**

Además de los contaminantes gaseosos, el aire puede tener partículas sólidas y líquidas suspendidas y dispersas, resultado del proceso de disgregación de la materia o producto de la acción mecánica sobre un sólido a las que se debe el aspecto nebuloso y brumoso del aire contaminado <sup>2</sup>. Estas partículas se conocen como polvo <sup>29,30,48,53</sup> y se encuentran clasificadas dentro de los principales contaminantes atmosféricos al alcanzar concentraciones que pueden ser nocivas para la salud, seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal o impedir el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación. Existen principalmente dos clases de partículas sólidas:

- 1) Polvos sedimentables, que presentan un diámetro mayor de 5 micras, tales como el sílice, berilio, asbesto, talco y fibras vegetales.
- 2) Polvos en suspensión, con diámetros mayores a 5 micras, mismos que a su vez se dividen en polvos orgánicos: tales como polen, polvillo de habitación, polvillos procedentes de fábricas de alimentos y con polvos inorgánicos, como por ejemplo el plomo, cromo y arsénico.

El tamaño de este tipo de partículas es pequeñísimo, considerando que una micra, también llamado micrón, equivale a una millonésima parte de un metro, por lo que solamente son visibles en grandes concentraciones. Sin embargo, este tipo de partículas, así como cualquier otro contaminante, no desaparece cuando se realiza su emisión o descarga directa o indirecta a la atmósfera, se mezclan y pueden integrarse a ella en forma semipermanente, por lo que el polvo es parte integral de la atmósfera, pero su acumulación en grandes cantidades, genera contaminación en determinadas zonas geográficas, debido a reduce la radiación solar y provocan la formación de nubes, lo que origina variaciones en la temperatura, que pueden producir severos cambios climáticos, a grado tal que la vida en este planeta se extinguiría <sup>33</sup>.

En la actualidad, con la ayuda de satélites de la Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio (NASA), científicos descubrieron que cuando el viento levanta el polvo de los desiertos, las nubes pueden obstruirse e impedir la llegada de la lluvia, debido a que las partículas contienen pequeñísimos materiales que absorben el agua formando gotas pequeñas que crecen lentamente porque tienen que ir chocando unas con otras hasta alcanzar el tamaño de una de gota de lluvia, lo que causa que la nube produzca menos precipitación durante su ciclo de vida. Anteriormente los científicos pensaban que las grandes partículas de polvo podían acelerar la formación de lluvia y crear grandes condensaciones de nubes y gotas de lluvia mayores, y que si no lo hubiese la condensación del vapor de agua atmosférico en las cumbres de montañas y colinas ocasionaría la formación de un vacío parcial que provocaría que los vientos cargados de humedad se conduzcan hacia esas zonas y no hacia las llanuras, que consecuentemente se convertirían en desiertos desolados y estériles <sup>33</sup>.

Otros de los efectos negativos de los polvos, es que disminuyen la visibilidad, intervienen en el deterioro de materiales de construcción y otras superficies, interfieren en la fotosíntesis de la vegetación, así como en la salud de la población, debido a que producen irritación en las vías respiratorias y su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis, además de agravar enfermedades tales como el asma y cardiovasculares.

**5.2.1. Fuentes de emisión de polvos.** Las fuentes de emisión de polvos se pueden clasificar en <sup>31</sup>:

1. **Naturales.** Son fuentes que emiten polvo sin que intervenga la acción humana, ejemplo de ellas son: Volcanes, incendios naturales, tormentas de tierra provenientes del desierto u otras zonas sometidas a sequía continua, polvo meteórico.
2. **Antrópicas.** Son obra y producto de la actividad humana, principalmente industrial, de transporte y combustión, por ejemplo: chimeneas, calderas y hornos industriales, motores industriales de generación electricidad y otros

procesos industriales, calderas de edificios, combustión residencial, quemas a cielo abierto, combustión en fuentes móviles, bancos de material geológico.

La emisión de polvo de tipo antrópico, puede ser fija y provenir de instalaciones establecidas en un solo lugar, en donde se desarrollen operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios, etc., o bien, proceder de diversas fuentes móviles, tales como caminos de terracería, camiones cargados de material geológico, labores de despalme y nivelación para la construcción de fraccionamientos, incendios provocados, etcétera. Las fuentes principales de las partículas suspendidas son: Combustión industrial y doméstica del carbón, combustóleo y diesel; procesos industriales; incendios, erosión eólica y erupciones volcánicas. Los principales emisores industriales son la fabricación de hierro y acero, la producción de cemento, la extracción de rocas y minerales, el almacenamiento y la manipulación de granos y la elaboración de pulpa y papel <sup>2</sup>.

### **5.2.2. Generación de polvos en la industria minera.**

Los polvos o partículas de materia del aire (PM por sus siglas en inglés) provienen de diversas fuentes, como fábricas, chimeneas, tubos de escape, incendios, obras de construcción, agricultura y minería. La minería es actividad mediante la cual se realiza la obtención selectiva de minerales y otros materiales, salvo materiales orgánicos de formación reciente, a partir de la corteza terrestre. Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no procede de una planta, entonces es que se obtiene de la tierra. Incluso las otras actividades del sector primario -agricultura, pesca y silvicultura- no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas.

La minería siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso resulta imposible que la minería no afecte al medio ambiente, al menos en la zona de la mina. De hecho, algunos consideran que la minería es una de las causas más importantes de la degradación medioambiental provocada por los seres humanos. Los métodos de minería se dividen en cuatro tipos básicos. En primer lugar, los materiales se pueden obtener en minas de superficie, explotaciones a cielo abierto u otras excavaciones abiertas. Este grupo incluye la inmensa mayoría de las minas de todo el mundo. En segundo lugar, están las minas subterráneas, a las que se accede a través de galerías o túneles. El tercer método es la recuperación de minerales y combustibles a través de pozos de perforación. Por último, está la minería submarina o dragado, que próximamente podría extenderse a la minería profunda de los océanos.

Los bancos de material geológico en donde se establece la actividad minera a cielo abierto, son depósitos naturales o yacimientos geológicos de grava, tepetate, tezontle, piedra, jal, arena amarilla, arena de río, o cualquier material derivado de las rocas o de proceso de sedimentación o metamorfismo que sea susceptible de ser utilizado como material de construcción, como agregado para la fabricación de éstos o como elementos de ornamentación. Se asocian con la generación de grandes cantidades de polvo, tanto grueso como relativamente fino, debido a que la trituración y el transporte del material geológico, principalmente de minerales no metálicos, tales como la piedra caliza para cemento, arcilla para cerámica, asbestos, arena para vidrio y concreto, grava (agregado) para concreto y revestimiento de carreteras, son una de las principales fuentes de emisión de polvos, que en muchas ocasiones pasan desapercibidas, lo que implica un riesgo, que se incrementa debido a que dichos materiales se deben producir relativamente cerca del lugar de consumo, debido a que muchos de estos materiales (principalmente arena y grava) tienen un valor de unidad muy bajo.

Los bancos de material geológico, generan además de la contaminación por polvos: ruido, disminución de la calidad de paisaje, modificación a la geomorfología, generación de residuos, pérdida de capa orgánica, modificación de la topografía natural, caminos de penetración, pérdida de cubierta vegetal y modificación del hábitat, debido a que requiere en su proceso del uso de maquinaria pesada para la remoción y extracción del material geológico, de tal manera que se retira de su estado natural de reposo cualquier material constituyente del volumen geológico que se aprovecha, lo que llega a producir una gran cantidad de polvos en varias etapas: descarga del producto, transporte, trituración, tamizado, molienda, clasificación por tamaño, manejo y almacenamiento del material. Si no se controlan, todos estos procesos pueden ser fuentes significativas de emisión de polvos.

Algunas operaciones de tratamiento mineral pueden también requerir procedimientos de lavado, secado, calcinado o flotación; esto dependerá del tipo de roca y del producto deseado. El nivel de polvo creado por cada operación varía en función de la intensidad, duración de la actividad y condiciones naturales principalmente. Sin embargo, todas las operaciones de tratamiento mineral son fuentes potenciales de emisión de partículas, dichas emisiones se pueden clasificar como fugas de los procesos o como fugas abiertas de polvo. Las fuentes de fugas de los procesos incluyen aquellas cuyas emisiones pueden capturarse y controlarse. Ejemplos de estas fuentes son las operaciones de trituración, tamizado, molienda, carga y transporte.

Las fuentes de fugas no se pueden controlar usando los sistemas convencionales de control y requerirían de estrategias que prevengan el arrastre del polvo por el viento o el movimiento de maquinarias. Entre ellas se encuentran las operaciones de remolque, las vías de remolque, la presencia de áreas de almacenamiento y pilas de materiales en las plantas. Algunas de estas fuentes de polvo, tales como los silos, pueden ser bien controladas por medio

de estrategias de control convencionales tales como filtros de tela. Las emisiones de polvo provienen de muchas operaciones relacionadas con la extracción y tratamiento de rocas y piedras, una parte importante de estas emisiones consiste en partículas pesadas que pueden depositarse dentro de la planta. Entre los factores que afectan las emisiones de ambos tipos de fuentes (fugas de procesos o abiertas) se encuentran: tipo de mineral (roca), cantidad y contenido de humedad superficial de los minerales procesados, factores topográficos y climáticos, y los tipos de equipos y prácticas de operación que se empleen.

Un aspecto importante es el tipo de mineral de que se trate. Las piedras suaves producen mayor cantidad de materiales de grano fino que las duras, debido a que son más desmenuzables y tienen menor resistencia a la fractura. De este modo, el tratamiento de rocas suaves presenta un potencial mayor de emisiones no controladas que el de rocas duras. Los tipos principales de rocas, ordenadas de acuerdo a dureza creciente, son el talco, la arcilla, el yeso, el sulfato de bario, la piedra caliza y la dolomita, el feldespato y el cuarzo. De esta forma, puede esperarse que el talco produzca las mayores emisiones no controladas y el cuarzo las menores. El contenido de humedad del material tratado puede tener un efecto significativo sobre las emisiones no controladas. Esto es particularmente evidente durante la extracción de piedras, el manejo inicial del material y las operaciones en planta tales como la trituración primaria.

La humedad superficial hace que las partículas finas se adhieran a las superficies de las piedras grandes, lo cual resulta en una supresión del polvo. Sin embargo, a medida que se van creando partículas nuevas por medio de la trituración y el rozamiento, y que la humedad disminuye debido a la evaporación, esta supresión disminuye y puede desaparecer. Debido a que el contenido de humedad se expresa generalmente como base del porcentaje del peso total, la cantidad de humedad real por masa constante, el contenido de humedad por unidad de área varía inversamente con el diámetro de la roca. Por lo tanto, el efecto supresor de la humedad depende tanto del contenido de agua (masa) como del tamaño de la roca. Un material húmedo contiene típicamente de 1,5 a 4 por ciento de agua.

Los principales factores geográficos y climáticos que afectan las emisiones de partículas no controladas son el viento y el contenido de humedad del material. Los parámetros de viento varían con la ubicación geográfica, la estación del año y el clima; puede esperarse que el nivel de emisiones de fuentes abiertas (principalmente fuentes de polvos fugitivos) sea mayor durante los períodos de vientos fuertes. El contenido de humedad del material también varía con la ubicación geográfica, la estación y el clima, por lo tanto las emisiones no controladas provenientes tanto de los procesos como de las fuentes abiertas serán mayores en las regiones áridas que en las templadas, y también mayores durante los meses de verano, debido a la tasa de evaporación más alta.



Un gran número de factores relacionados con los materiales, equipos y operaciones influyen en las emisiones provenientes de las plantas de tratamiento. Las plantas de tratamiento principales incluyen trituradoras, tamices y equipos para el manejo y la transferencia de material. Todos estos son fuentes potenciales de emisiones de partículas. Las emisiones provienen generalmente de los equipos de tratamiento en los sitios de alimentación y descarga, y de los equipos de manejo en los sitios de transferencia. En las tablas 5.1. y 5.2., se muestran los factores de emisión disponibles para emisiones no controladas de procesos y fuentes abiertas respectivamente.

**Tabla 5.1. Factores de emisión no controladas de partículas provenientes de operaciones de trituración en plantas de trituración de rocas.**

Tipo de Trituración <sup>b</sup>		Partículas ≤ 30 microgramos Lb/ton	Partículas ≤ 10 microgramos Lb/ton
Primaria o secundaria	Material seco	0.28	0.017
	Material húmedo <sup>c</sup>	0.018	-
Terciaria	Material seco	1.85	-

<sup>a</sup> Estos factores están basados en la velocidad real de alimentación de la materia prima en la operación particular, las emisiones varían dependiendo del tipo de roca, pero no hay suficientes datos para caracterizar estos fenómenos. El guión significa que no hay datos.

<sup>b</sup> Eficiencias de control típicas de los sistemas de turbulencia, 70-80%; filtro de tela, 99%; sistema de rociado húmedo, 70-90%.

<sup>c</sup> Se refiere a la trituración de rocas naturalmente húmedas o humedecidas hasta 1, 5-4 por ciento del peso con la técnica de supresión por humedad.

**Tabla 5.2. Factores de emisión para emisiones no controladas de partículas provenientes de fuentes de polvo fugitivos en plantas de trituración de roca.**

Operación		Fuentes de polvo	Factor de emisión lb/ton
Perforación de canteras con agua		Piedras no fracturadas	$1 \times 10^{-4}$
Descargas de camiones		Piedras fracturadas	$2 \times 10^{-3}$
Cargas de camiones	Aparato transportador	Piedras trituradas	$1 \times 10^{-4}$
Transportación	Correa de túnel	Piedras trituradas	$2 \times 10^{-4}$

### **5.2.3. Métodos para la medición de la concentración de polvos.**

Las partículas se estudian de acuerdo a su tamaño, el cual a su vez está relacionado con su capacidad de sedimentar. En el vacío todos los cuerpos caen acelerados, pero esto no sucede cuando caen en el aire. Cuando una partícula pequeña o en general, cualquier otro cuerpo sólido cae en el aire, inicialmente se acelera, pero en virtud de una fuerza de resistencia alcanza después una velocidad constante, llamada velocidad terminal, por lo que cuanto más pequeña es la partícula, su velocidad terminal es menor. Por ejemplo, una que tuviera radio de 1 micrómetro necesitaría dos horas y media para caer 30 cm (en aire inmóvil). En pocas palabras, estos polvos finos se encuentran suspendidos en el aire, forman parte de él, y esa mezcla aire-partículas es un aerosol.

En base a lo anterior, se puede decir que el comportamiento de las partículas en la atmósfera y en los organismos vivos, depende de las propiedades físicas y químicas que tengan, por lo que el tiempo de sedimentación de las partículas que se encuentran en el aire está supeditado al tamaño, densidad y forma de las partículas. Las partículas principalmente se estudian de acuerdo a su tamaño, el cual a su vez está relacionado con su capacidad de sedimentar, aquellas partículas que midan más de 50 micrómetros se depositan rápidamente. Mientras más pequeñas sean, su tiempo de permanencia en la atmósfera será mayor y sus riesgos para la salud se incrementarán, tal es el caso de la arena con tamaño de 100 micrones, cuya capacidad de precipitación es de 100 centímetros por segundo, comparado con el talco en polvo, cuyo tamaño es de 1 micrón y adquiere velocidades de sedimentación de 0,01 centímetros por segundo <sup>(m)</sup>. Otros ejemplos se exponen en la tabla 5.3., que se exhibe a continuación:

**Tabla 5.3. Capacidad de sedimentación de las partículas.**

<b>Partículas</b>	<b>Tamaño (micrones)</b>	<b>Velocidad de Precipitación (centímetros/segundo)</b>
Arena	100	100
Asbesto	10	1
Talco en polvo	1	0,01
Humo	0,1	0,0001

Por lo anterior, el tamaño es considerado como la característica física más importante de las partículas suspendidas, su tamaño se define por el diámetro, que para las partículas redondeadas es un índice específico, mismo que en la figura 5.1. se muestra como intervalos típicos de tamaños de partícula.

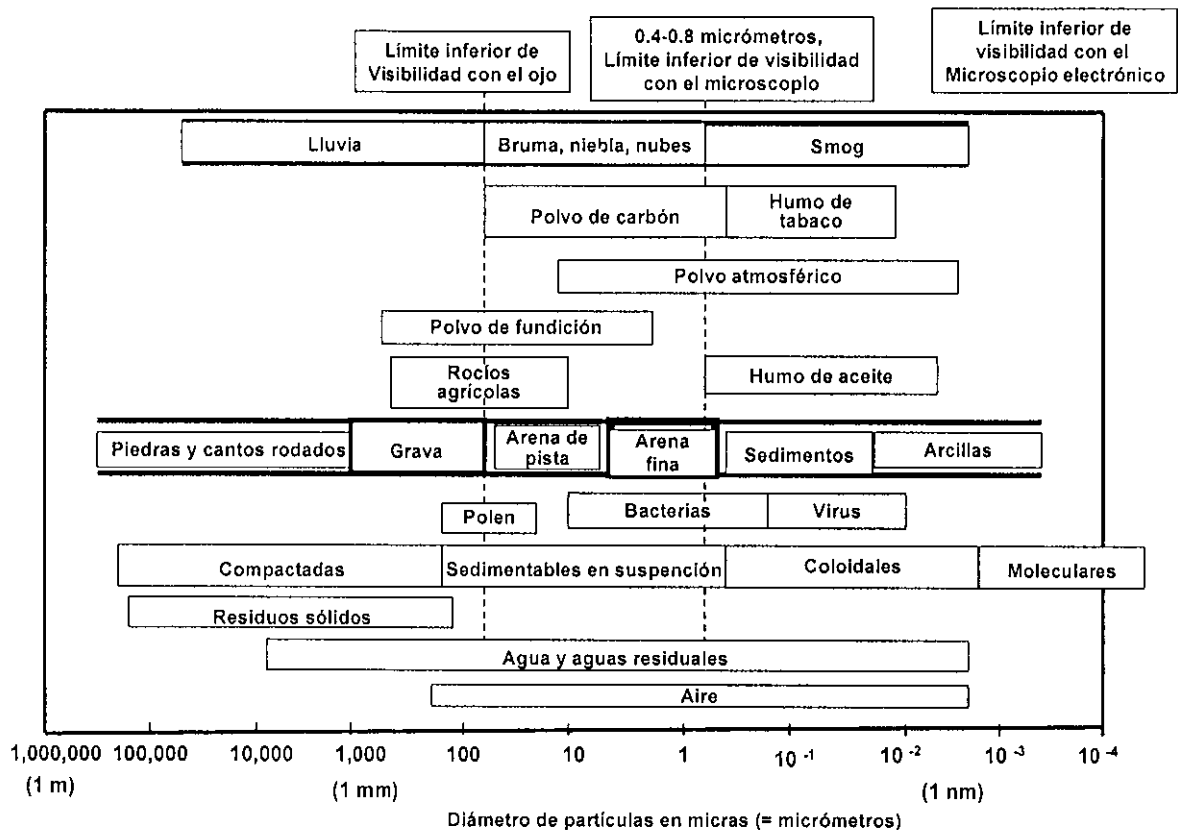


Figura 5.1. Gráfica de tamaño de partículas.

Para aquellas partículas cuya forma no sea esferoidal, se adoptan índices convencionales, tales como:

- El volumen de la partícula en términos de esfera.
- La masa de la partícula en términos de esfera.
- La velocidad de sedimentación de la partícula en términos de la velocidad correspondiente a una esfera.
- El diámetro de la partícula como dimensión de la superficie proyectada tal como se ve al microscopio.
- Las partículas de tamaños 0.005 a 0.05 mm se forman por condensación de vapores debidos a altas temperaturas o procesos químicos.
- Las partículas de 0.05 a 2 mm provienen de la coagulación de partículas más pequeñas, o de partículas menores por condensación de vapor.
- Las partículas de vapor están comprendidas entre 0.01 y 1 mm.
- Las partículas de niebla pueden tener diámetros medios de 0.5 mm.
- Las de polvo van desde poco menos de 1 hasta 100 mm.

La forma de las partículas depende de la naturaleza del material de que proceden y de la manera en que se han formado. Sus formas pueden ser prismáticas, esféricas, cúbicas, escamosas, fibrilares, de bastón, floculares o agregadas. Se denominan fibras a aquellas partículas cuya longitud es por lo

menos tres veces mayor que su anchura. Cuanto más se aleje la partícula de la forma esférica, mayor superficie tendrá por relación al volumen; esto influye en su velocidad de caída.

La superficie total (incluidos los poros accesibles desde el exterior) y la naturaleza fisicoquímica de una partícula determinan su capacidad para adsorber gases y vapores y retener cargas eléctricas. La reactividad de una partícula está íntimamente relacionada con su extensión superficial. Su reactividad es mayor a medida que disminuye el tamaño, debido a que aumenta rápidamente la superficie relativa. Por lo anterior, las propiedades de las partículas relacionadas con el área externa específica son: adhesión, fotodispersión, carga electrostática, capacidad de adsorción, solubilidad y velocidad de evaporación.

En el vacío todos los cuerpos caen acelerados, pero esto no sucede cuando caen en el aire. El polvo puede permanecer en el aire durante largo tiempo, dependiendo de varios factores, entre los cuales están: tamaño, finura, forma, peso específico, velocidad del movimiento del aire, humedad y temperatura ambiental. Para determinar la duración de la suspensión de una partícula de polvo en el aire sin movimiento, debemos considerar la interacción de dos fuerzas: el peso o gravedad de la partícula y la fuerza de resistencia del aire, por lo que a mayor fuerza de gravedad mayor velocidad de la caída de la partícula. A su vez la fuerza de resistencia crece, como ejemplo se tiene una partícula esférica con un tamaño de 10 micras (1 micra =  $1 \cdot 10^{-3}$  mm.), en aire sin movimiento, la situación ideal será:  $\sum F_s: E + Fr - W = 0$ , donde :

E : Empuje( peso del volumen de aire desalojado).

Fr : Fuerza de roce.

W : Peso partícula

Velocidad de la esfera =  $\frac{4}{3} \cdot p \cdot R^3$

j a = Densidad del aire.

j p = Densidad de la partícula.

Si se tiene:  $-\frac{4}{3} \cdot p \cdot r^3 \cdot j_a \cdot g - Fr + \frac{4}{3} \cdot p \cdot r^3 \cdot j_p \cdot g = m \cdot a$

La fuerza de roce para una partícula esférica que cae en un fluido es :

$Fr = 6 \cdot p \cdot r_p \cdot u_a \cdot V_p$

donde :

rp : radio de partícula.

Ua : viscosidad del aire,(poises).

Vp : velocidad de partícula.

Si reemplazamos nos queda :

$$\frac{4}{3} \cdot \rho_p \cdot r_p^3 \cdot j_p \cdot g - 6 \cdot \rho_p \cdot r_p \cdot \mu_a \cdot V_p - \frac{4}{3} \cdot \rho_p \cdot r_p^3 \cdot j_a \cdot g = m_p \cdot a_p$$

Cuando se trata de partículas menores de 10 micras, éstas caerán desde cierto instante, con velocidad constante determinada por la ley de Stokes. Luego :

$$V_p = \frac{2}{g} \cdot \left( \frac{\rho_p \cdot g}{\mu_a} \right) \cdot (j_p - j_a) \quad (\text{ley de stokes})$$

$V_p$  : Velocidad de la partícula en, cm/sg.

$r_p$  : Radio de la partícula en cms.

$g$  : Aceleración de gravedad, cms/sg<sup>2</sup>

$\mu_a$  : Viscosidad del aire, poises

Debido a que el peso específico del aire es muy pequeño respecto al de la partícula, éste puede omitirse.

$$g = 981 \text{ cm/seg}^2$$

$$\mu_a = 1.181 \cdot 10^{-4} \text{ poises}$$

$$j_p = 2.5 \text{ gr/cms}^2 \text{ (partícula de cuarzo)}$$

Los polvos son detectados a través de Redes de monitoreo, existentes en las principales ciudades de la República Mexicana <sup>7, 13</sup>, particularmente se utilizan muestreos personales, cuyo procedimiento de captura de concentración de polvos en el aire se realiza mediante el equipo portátil de la figura 5.2., usualmente colocado a la altura de la zona respiratoria del trabajador, a manera que pueda ser portado durante el periodo de trabajo o muestreo.

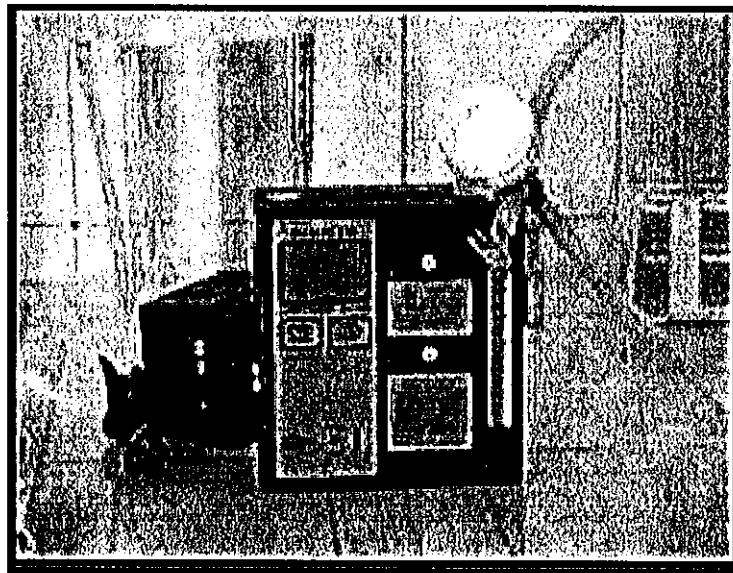


Figura 5.2. Equipo utilizado para muestreo de tipo personal.

**Muestreo ambiental.** Procedimiento de captura de la sustancia química, mediante detectores fijos en posición equivalente a la del trabajador expuesto. Este tipo de muestreo se utiliza para determinar el nivel de contaminación en un

punto fijo del área de trabajo, y se muestrea en realidad el área de exposición del trabajador. Se utiliza para este fin un muestreador de alto volumen como el que se muestra en la figura 5.3.

### MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN, TIPO HI-VOL

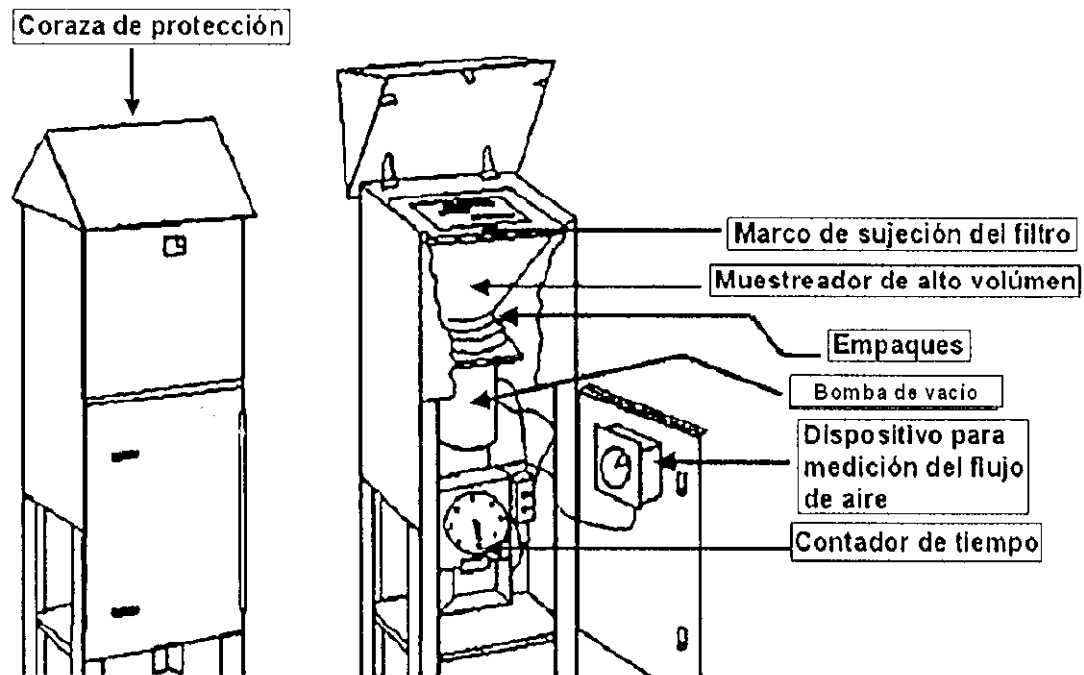


Figura 5.3. Esquema de un muestreador de alto volumen tipo Hi-Vol, utilizado para muestreo ambiental.

Las concentraciones obtenidas a través de estos muestreos se comparan con límite máximo permisible de exposición (LMPE) de la Norma Oficial Mexicana correspondiente <sup>23</sup>, que es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, que no debe superarse durante la exposición de los trabajadores en una jornada de trabajo en cualquiera de sus tres tipos. El LMPE de exposición se expresa en  $\text{mg}/\text{m}^3$  o ppm, bajo condiciones normales de temperatura y presión <sup>26</sup>.

La medición de las emisiones de contaminantes a la atmósfera permite establecer medidas reguladoras sobre la calidad del aire y particularmente sirve para establecer valores límite permisibles que no representen riesgos a la salud de la población y efectos adversos al ambiente, dichas mediciones se definen como monitoreo atmosférico, a partir de ellas se obtienen continua y sistemáticamente de muestras ambientales y su análisis determina los tipos y concentración de los contaminantes presentes en el aire por un período de tiempo determinado. Para este tipo de análisis, los estudios epidemiológicos utilizan mediciones indirectas, como son: el ausentismo escolar, o la demanda

de servicios hospitalarios y de urgencias <sup>16</sup>, adicionalmente, se miden condiciones ambientales y meteorológicas <sup>18,20,28</sup>.

Estos estudios indican que la porción total de contaminantes absorbidos por vía inhalatoria dependerá de su concentración en la atmósfera de trabajo, del tiempo de exposición y de la ventilación pulmonar <sup>29,30</sup>. También se toma en consideración la toxicidad del contaminante, es decir, la capacidad que producir una lesión o efecto nocivo sobre los organismos vivos. Estos daños pueden ser causados por las circunstancias particulares de exposición, que al realizarse sobre la base de la duración se clasifica como <sup>10\*</sup>:

- a) Exposición aguda. Se produce por una exposición de corta duración en el cual el agente químico o físico es absorbido rápidamente, ya sea en una o varias dosis, en un período no mayor de 24 horas; los efectos aparecen de manera inmediata.
- b) Exposición subaguda. Se produce ante exposiciones frecuentes o repetidas durante varios días o semanas; los efectos aparecen en forma relativamente retardada.
- c) Exposición crónica. Se produce con exposiciones repetidas a bajas dosis durante largo tiempo. Los efectos se manifiestan porque el agente tóxico se acumula en el organismo, es decir, la cantidad eliminada es menor que la absorbida; o bien, porque los efectos producidos por la exposiciones repetidas se suman.

Para evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa del desarrollo de una obra o actividad, es necesario implementar un conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, a las que se denominan medidas de prevención y mitigación. <sup>37</sup>

#### **5.2.4. Normatividad ambiental con respecto a la concentración de polvos (partículas suspendidas totales) en el aire ambiente.**

Entre las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), publicadas para determinar la calidad del aire, con respecto a la concentración de polvos, también denominados como partículas suspendidas totales en el aire ambiente, se encuentran las siguientes:

1. **NOM-024-SSAI-1993. Salud Ambiental.** Que establece los criterios y el valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
2. **NOM-025-SSAI-1993: Salud Ambiental.** Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas menores a 10 micras (PM<sup>10</sup>). Valor

permisible para la concentración de partículas menores a 10 micras en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

3. **NOM-010-STPS-1999**, condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. En esta NOM están contenidos: el Procedimiento No. 53, método para la determinación gravimétrica de polvos totales en aire, y el Procedimiento No. 68, método para la determinación gravimétrica de polvos respirables en aire, en el medio ambiente laboral.
4. **NOM-035-SEMARNAT-1993**, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

En nuestro país, no existen recursos, ni infraestructura suficientes para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales ni en seres humanos, por lo que las normas se establecieron límites máximos permisibles de exposición, fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo <sup>7</sup>. Los valores normados para las partículas suspendidas presentes en el aire se indican en la tabla 5.4.

**Tabla 5.4.- Valores normados para la exposición a polvos. \***

Contaminante	Valores Límite			Norma
	Exposición Aguda		Exposición Crónica (Para Protección de la salud de la Población Susceptible)	
	Concentración y Tiempo Promedio	Frecuencia Máxima Aceptable		
Partículas Suspendidas Totales (PST)	260 µg/m <sup>3</sup> (24 Horas)	1 vez al año	50 µg/m <sup>3</sup> (media aritmética anual)	NOM-024-SSA-1994
Partículas Fracción Respirable	150 µg/m <sup>3</sup> (24 Horas)	1 vez al año	1.5 µg/m <sup>3</sup> (promedio aritmético en 3 meses)	NOM-025-SSA-1994

\*Valores publicados en el Diario Oficial de la Federación el 3 de diciembre de 1994. Fuente: SEMADES, 2001 <sup>7</sup>

### 5.3. Efectos a la salud por la exposición a polvos.

Las partículas suspendidas en el aire, conocidas como partículas de materia (PM por sus siglas en inglés), son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera cuyo diámetro va de 0.3 a 10 micrómetros, tales como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, son conocidas como Partículas Suspendidas (PST) en su Fracción Respirable (PM<sub>10</sub>), mismas que están constituidas por aquellas partículas de diámetro inferior a 10 micras, que



tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares. La amenaza más seria e inmediata de esta contaminación, radica principalmente que en sus efectos físicos sobre los seres humanos son difíciles de evaluar a largo plazo <sup>32</sup>, dado que el ser humano cada día inhala aproximadamente de 7,500 a 15,000 litros de aire para cubrir sus necesidades metabólicas, ese aire contiene un aerosol heterogéneo de polvos, vapores y microorganismos, el resultado neto es que las personas que viven en un medio urbano inhalan cerca de 2 miligramos de polvo al día <sup>1</sup>, de tal manera que sus pulmones y sistema respiratorio general están en contacto y tienen la potencialidad de retener cualquier sustancia nociva que se encuentre en ese aire <sup>34</sup>, lo que puede ocasionar neumoconiosis en el ser humano, es decir, un conjunto de enfermedades provocadas por la acumulación en los pulmones de polvos minerales.

El término de neumoconiosis, derivado de "kovni" (kónis) o polvo, lo formuló Zenker en 1867, para designar las enfermedades respiratorias secundarias a la inhalación de polvos inorgánicos, presentes con mayor frecuencia entre los trabajadores del medio industrial <sup>16,18,31</sup>, donde lo más frecuente es la exposición a múltiples tipos de partículas, que producen una mezcla heterogénea de dosis, tamaño y composición, por lo que a consecuencia de la exposición a polvos se pueden tener padecimientos en los ojos, que van desde la reducción de la visibilidad hasta la queratoconosis, así como padecimientos producidos por la inhalación de polvos minerales que habitualmente no suscitan reacciones de inmunidad: antracosis (carbón mineral), talcosis (talco), silicosis (sílice), asbestosis (asbesto), beriliosis (berilio).

Estas enfermedades bronco pulmonares se clasificaron dentro del importante grupo de padecimientos conocido como neumoconiosis, presentes con mayor frecuencia entre los trabajadores del medio industrial <sup>f (6), 14 (18)</sup>. En estas enfermedades bronco pulmonares, no sólo es importante el tamaño de las partículas, sino también la forma, densidad, composición química, propiedades mecánicas e inmunogenicidad (capacidad de producir una respuesta inmunitaria), que determinan en gran parte la naturaleza de las lesiones producidas en las personas expuestas.

Con lo anterior, se puede deducir que muchas sustancias que se encuentran en la atmósfera del lugar de trabajo pueden causar problemas de salud, principalmente de respiración. Algunos de estos son los siguientes <sup>(99)</sup>:

- Polvo de la madera, algodón, carbón, asbestos, sílice y talco. El polvo de los granos del cereal, café, pesticidas, polvos de enzimas o drogas, metales y fibra de vidrio también pueden herir sus pulmones.
- Gases tales como los de metales que se calientan y enfrían rápidamente. Este proceso causa la formación de pequeña partículas sólidas flotando por el aire. Ejemplos de trabajos en donde el trabajador es expuesto a gases de metales y otras sustancias que se calientan y enfrían rápidamente, incluyen

soldadura, fundición, trabajos en hornos, producción de cerámica, fabricación de plásticos, y operaciones de goma.

- Humo de la quema de materiales orgánicos. El humo puede contener una variedad de polvos, gases, o vapores, dependiendo en lo que se está quemando. Los bomberos se encuentran en un riesgo especial.
- Gases como los del formol, amoníaco, cloro, dióxido de azufre, ozono y los óxidos de nitrógeno. Estos gases se pueden encontrar en los trabajos donde se hacen reacciones químicas, y en trabajos con operaciones de altas temperaturas, tal como la soldadura, fundición, trabajos de hornos y secado productos en un horno.
- Vapores, tal como los que son en forma de gases producidos por líquidos. Los vapores, como los que emanan los solventes, usualmente irritan la nariz y garganta primero, antes de afectar los pulmones.
- Aéreosoles de pintura, lacas (por ejemplo, barnices), laca de pelo, pesticidas, productos de limpieza, ácidos, aceites y solventes (como la trementina).

La reacción de los tejidos en el ser humano es entonces una combinación de reacciones, dado que algunas de estas sustancias pueden causar irritación del sistema respiratorio superior o irritación de su nariz y garganta, como los síntomas de un resfrío, nariz tupida y carraspeo en la garganta, síntomas similares a los que se presentan en casos de infecciones virales y alergias. Cabe señalar que patologías tales como: irritación de nariz y garganta y otros problemas de respiración se presentan frecuentemente cuando la persona está en el trabajo. La mala ventilación, áreas de trabajo cerradas y el calor aumentan este riesgo; así mismo, al exponer regularmente a las personas a contaminantes que se encuentran en la atmósfera puede aumentar el riesgo de enfermedades pulmonares como enfisema, bronquitis crónica, asma bronquial y otras afecciones respiratorias. La reacción en el pulmón frente a las diversas partículas es variable, a continuación se muestran algunos ejemplos:

- Sal común: Ausencia de reacción.
- Asbesto: Fibrosis intersticial.
- Berilio: Reacciones granulomatosas.
- Sílice: Fibrosis nodular difusa o proteinosis alveolar.
- Oxígeno: Alveolitis fibrosante.
- Humo del cigarrillo: Bronquiolitis.
- Carbón: Acumulación con reacción mínima.

El ser humano puede presentar diversos problemas pulmonares, debido a que dichas partículas pueden estar formadas por una combinación de polvo, pólenes, mohos, suciedad, tierra, cenizas y hollín. Cuanto más finas son las partículas más pueden dañar los pulmones, debido a que son inhaladas con facilidad profundamente en los pulmones, desde donde son absorbidas al resto

del cuerpo. Una proporción importante de morbilidad, mortalidad y admisiones hospitalarias son atribuidas a la contaminación del aire por partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>), por lo que se considera que mediante la reducción de la concentración media de PM<sub>10</sub> se puede disminuir el número de muertes de personas expuestas al año <sup>14</sup>, tal como se señala en la tabla 5.5:

**Tabla 5.5. Prevención de mortalidad mediante la reducción de la concentración media de PM<sub>10</sub>.**

<b>Concentración de PM<sub>10</sub> (microgramos por metro cúbico)</b>	<b>Número de Muertes / año que es posible prevenir:</b>
40	2,000
30	3,500
20	5,500

Fuente: Galassi, C., 1991 <sup>14</sup>.

Los efectos a la salud más significativos de la contaminación atmosférica en Asia del Sur se asocian a la exposición a materia particulada, algunos de esos efectos son: muerte prematura por afectación en pulmones y corazón, bronquitis crónica, ataques de asma y otras formas de enfermedades respiratorias.

En México y otros países se han encontrado asociaciones entre los efectos agudos de enfermedad respiratoria en la población general y la exposición a contaminantes atmosféricos mediante la realización de estudios epidemiológicos <sup>16</sup> de tipo prospectivos, retrospectivos y transversales, en donde se ha sugerido una relación positiva entre contaminación urbana y deterioro pulmonar progresivo <sup>20</sup>, encontrando que en las áreas con mayor exposición al polvo hay presencia de un mayor número de síntomas en el aparato respiratorio, en donde la obstrucción nasal es el síntoma más frecuente, seguido de la disnea al esfuerzo físico y el dolor torácico; a continuación, la tos y la disnea al reposo, sobre todo en fumadores, sugiriendo una relación positiva entre contaminación urbana y deterioro pulmonar progresivo <sup>18,19,29</sup>. La exposición repetida y prolongada en el trabajo a ciertos irritantes puede provocar un conjunto de enfermedades pulmonares cuyos efectos permanecen incluso después de que esa exposición termine. Ciertas ocupaciones, debido a la naturaleza de su ubicación, al tipo de trabajo o al ambiente en que se desarrollan, suponen un mayor riesgo para las enfermedades laborales pulmonares que otras.

En una empresa fabricante de sanitarios en Monterrey, N. L., se evaluó la tolerancia al esfuerzo en trabajadores expuestos a polvos inorgánicos <sup>62</sup>, a través de la medición del consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx), con lo que se determinó la capacidad física de los trabajadores. Se utilizaron como indicadores la frecuencia cardíaca obtenida de las diversas fases de la prueba y el peso de cada individuo, de esa manera se estimó el VO<sub>2</sub> máx. Se solicitó el reporte de la medición ambiental de polvos realizada en 1999. La determinación

de polvos en el ambiente laboral se realizó con bomba gravimétrica personal en algunos puestos clave, siguiendo los procedimientos conforme a la Norma Oficial Mexicana. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes, así como el análisis de correlación y regresión.

Las pruebas estadísticas aplicadas a los datos resultaron no tener significancia, sin embargo, existen algunos factores que pudieran haber influido en ello, como los cambios de puesto, falta de monitoreo de polvos en la totalidad de los trabajadores, variaciones en la hora de aplicación de la prueba de tolerancia al ejercicio y muestra probablemente insuficiente, datos que deberán controlarse en estudios posteriores. Cuando es mayor la cantidad de material extraño en los pulmones, menos eficiente es el sistema respiratorio y más duro debe trabajar el corazón. Se piensa que esta acumulación de partículas da origen a padecimientos cardiacos y respiratorios crónicos, como enfisema y bronquitis. Los efectos en la salud son más notorios si los particulados están en combinación con otros contaminantes, como ejemplo se tienen los efectos sinérgicos de las partículas y los contaminantes gaseosos, como la combinación de SO<sub>2</sub> y partículas de humo, son mayores que la suma de sus efectos individuales<sup>10,18,30</sup>.

Las dos enfermedades principales profesionales del pulmón son la silicosis y la asbestosis. Se dan sobre todo en mineros y los primeros signos de descompensación pulmonar ocurren en general después de los 50 años, cuando una cantidad significativa de polvo se ha acumulado en los pulmones. Los padecimientos producidos por la inhalación de polvos minerales que habitualmente no suscitan reacciones de inmunidad son: antracosis (carbón mineral), talcosis (talco), silicosis (sílice), asbestosis (asbesto), beriliosis (berilio).

**Silicosis o enfermedad del polvo.** Es la enfermedad ocupacional más antigua, se conoce como una enfermedad crónica incapacitante, derivada de la inhalación de partículas de 0,5 a 5 micrómetros de diámetro. Se conoce como una fibrosis progresiva, granulomatosa, hialinizante, en la que se forman en los pulmones nódulos de tejido cicatrizante que contienen sílice, que se produce en sitios de depósito de polvo de cuarzo (SiO<sub>2</sub>), que existe en forma natural como cristal de roca (cuarzo), arena, cuarzita, tripoli, tridimita, ópalo, calcedonia, tierra diatomácea y cristobalita, por lo que sin polvo de cuarzo no existe silicosis, razón por la cual existe una mayor prevalencia de esta enfermedad en trabajadores expuestos a polvos generados por litologías provenientes del granito y nunca se ha detectado en trabajadores expuestos a polvos generados por basalto, mismo que está comúnmente compuesto por feldespatos de potasio (potásicos), sodio feldespatico en menor proporción, cuarzo y posiblemente mica (biotita) y ocasionalmente amfibiolita, lo que ocasiona que entre los oficios con alto riesgo de silicosis se encuentren: minería (carbón, arcilla); industria del acero y del hierro (cemento, arena); industria de la construcción (cemento, arena); picapedrería (mármol) e industria de la cerámica (porcelana, arcilla).

Esta enfermedad origina cavidades irregularmente delimitadas y ocupadas por masas secas, como una papilla (tisis negra). Puede observarse calcificación distrófica, dado que parte del polvo inhalado es transportado a los ganglios linfáticos regionales donde pueden constituir nódulos silicóticos también. Por irrupción en las venas pulmonares desde los ganglios linfáticos, es posible observar pequeñas diseminaciones hematógenas. Actualmente se consideran dos teorías:

1. La teoría de la solubilidad: las partículas de sílice se disuelven intracelularmente y el ácido silícico disuelto produce necrosis de los macrófagos con fibrosis.
2. La teoría de la superficie: la acción patógena del polvo de cuarzo es determinada por la reacción entre la superficie de las partículas de cuarzo y la membrana plasmática de los macrófagos. En la progresión de la citotoxicidad se disuelven las membranas lisosomales. Las células necróticas son probablemente el elemento irritante que desencadena la fibrosis

Al principio no hay síntomas, pero la enfermedad puede continuar avanzando incluso después de cesar la exposición al polvo. En el peor de los casos, comienza con una silicosis simple y progresa hacia una condición conocida como silicosis conglomerada, en la que nódulos de fibras individuales se unen y forman grandes masas de tejido cicatrizante. Este tipo de silicosis impide al pulmón tomar la cantidad de oxígeno necesaria para el organismo. Con el tiempo, esto causa complicaciones severas, como el enfisema, dolencia en la que los alvéolos pulmonares pierden su elasticidad y funcionalidad. La tuberculosis pulmonar también es una complicación frecuente.

Las consecuencias de la silicosis son: enfisema centrolobulillar, enfisema paracatrazal, hipertensión pulmonar y cor pulmonale crónico. Puede haber bronquitis deformante y bronquiectasias por la irrupción de los ganglios linfáticos hiliares indurados en los grandes bronquios. En la silicoantracosis, la silicosis se acompaña de una antracosis difusa y macular. Se palpan nodulillos de 1 a 2 mm, aislados o en grupos. Los núcleos hialinos están rodeados por amplias bandas formadas por fagocitos con polvo de carbón y tejido fibroso.

Estos focos se forman de preferencia en las bifurcaciones bronquiales. El contenido total de polvo de los pulmones es de 20 a 30 g, normalmente. Raras veces alcanza más de 50 g y como máximo, 100 g. El polvo de cuarzo no se encuentra más allá de 1 a 3 g, incluso en los casos más graves. El diagnóstico se basa en la historia de exposición, la exclusión de otras causas y, la radiología compatible. La biopsia (operación que consiste en extirpar en el individuo vivo un fragmento de órgano o de tumor con objeto de someterlo a examen microscópico) sólo está indicada en casos muy concretos, como situaciones médico - legales, presentaciones atípicas, etcétera.

**Asbestosis.** Significa fibrosis pulmonar por inhalación de polvo de asbesto. El grado en que puede producirse dependerá del tipo de asbesto. Lo más importante es la concentración y tiempo de exposición. Las fibras más cortas (10  $\mu\text{m}$  o menos) son fagocitadas o rodeadas por macrófagos que forman granulomas. Las más grandes, simultáneamente favorecen la precipitación de proteínas y hierro endógeno y dejan la fibra como núcleo y constituyendo el llamado cuerpo ferruginoso o cuerpo de asbesto. Estos son estructuras delgadas, alargadas, como bastón, amarillo cobrizos, de hasta 50  $\mu\text{m}$  de largo. El hallazgo de cuerpos de asbesto en pulmón o expectoración indica sólo exposición y no es una prueba de enfermedad por asbesto. Estos cuerpos se han encontrado en ciudadanos de las metrópolis, no expuestos, hasta en un 60% de las autopsias. El mecanismo de la fibrosis no está aclarado y se supone que es similar al de la silicosis. La fibrosis es peribronquiolar y luego se extiende a los conductos y tabiques alveolares. Hay obliteración progresiva de los alvéolos con dilatación compensatoria de los indemnes. Puede terminar en un pulmón en panal. Los cuerpos de asbesto se encuentran libres y en el espesor de la fibrosis.

La enfermedad comienza en la región subpleural de los lóbulos inferiores y luego progresa hacia el centro y hacia los lóbulos superiores. La exposición a asbesto puede producir: placas fibrosas pleurales, asbestosis pulmonar y mesotelioma maligno de la pleura y del peritoneo. Los pacientes desarrollan insuficiencia respiratoria y también hipertensión pulmonar con cor pulmonale. La asbestosis predispone a la tuberculosis. La asbestosis es la única neumoconiosis con mayor riesgo de cáncer bronquial. Este riesgo es mayor con los años o con mayor exposición y en fumadores.

**Beriliosis.** El berilio y sus compuestos se emplean en la fabricación de aparatos resistentes al fuego, cuerpos incandescentes y sustancias fluorescentes. Las partículas de polvo de berilio se depositan en un 99% en el pulmón y ganglios linfáticos regionales. Después de algunos días o semanas se desarrolla una neumonía aguda por berilio, un cierto porcentaje progresa a la neumonía crónica. El daño crónico se observa en el 2% de los expuestos. Hay numerosos granulomas productivos similares a los de la sarcoidosis y una infiltración linfoplasmocitaria intersticial. A menudo se produce necrosis fibrinoide central y células gigantes multinucleadas, de tipo cuerpo extraño y de Langhans. Con tinción de van Gieson los depósitos de berilio son rojo intenso y no son birrefringentes.

### **5.3.1. Rutas de absorción de polvos en el ser humano.**

La ruta por la cual el elemento tóxico irrumpe en contacto con el individuo es un factor que más influye sobre los efectos tóxicos de una sustancia. No obstante, se debe tener en cuenta que los factores que modifican la respuesta a un agente tóxico esta en función de la triada agente-receptor-ambiente. Donde debe tenerse en cuenta aspectos como la estructura genética, estado

nutricional, sexo, edad y estado emocional del receptor, así como la temperatura y presión parcial elevada del oxígeno en el ambiente, y los factores del agente tóxico que incluyen, la estructura y composición química, tamaño de la partícula y la cantidad y concentración. Las rutas de absorción más comunes son <sup>10</sup>:

1. Gastrointestinal. El ingreso por vía oral, como se denomina también, ocurre por la ingestión directa de agua, o alimentos contaminados, o la misma sustancia tóxica también. Es relevante señalar que la absorción de la sustancia, dentro de sistema gastrointestinal, puede ser rápida o muy lenta, dependiendo de las características intrínsecas de la misma.
2. Respiratoria. La inhalación es una vía importante para la exposición humana a contaminantes que existen como gases o que están adsorbidos a partículas suspendidas o a fibras, puede darse por la emisión directa de gases y partículas de alguna instalación, por la volatilización de compuestos que contaminan suelo o cuerpos de agua, por la resuspensión de polvo y de partículas de la superficie del suelo.

La exposición respiratoria es la vía más trascendental en el área laboral, sobre todo en la fábricas, actividades manufactureras y como en el caso que nos compete, debido a la exposición directa y al uso frecuente de sustancias inestables y/o corpúsculadas. Para estimar la dosis de exposición por inhalación, debe determinarse la frecuencia ventilatoria, misma que suele expresarse como el volumen minuto, que es el volumen de aire que es inhalado en un minuto (litros por minuto). La siguiente ecuación es la base para estimar la dosis de exposición que resulte por entrar en contacto con un medio contaminado:

$$DE = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$$

Donde:

DE = Dosis de Exposición.

C = Concentración del Contaminante en el Medio.

TI = tasa de Ingreso (ingesta, inhalación, etc.)

FE = Factor de Exposición.

PC = Peso Corporal.

La ecuación anterior permite el cálculo de la dosis de contaminante que es ingerida por el tracto gastrointestinal o que es inhalada por el tracto respiratorio. Sin embargo, esta dosis de exposición podría no ser igual que la dosis absorbida, que es la dosis que atraviesa los epitelios gastrointestinal o respiratorio. Para los propósitos de evaluación de riesgos, la dosis de exposición es más útil que la dosis absorbida, ya que esta última rara vez es conocida para humanos o para animales con propósitos de comparación. Los

volúmenes minuto varían poco entre los diferentes sexos antes de los 12 años de edad. Sin embargo, los adolescentes masculinos tienen un volumen minuto 50% superior que sus contrapartes femeninas. Así mismo, entre los adultos, los hombres bajo gran esfuerzo, tienen de un 35 a un 40% mayor volumen minuto que las mujeres. Los factores que más afectan el volumen minuto son el nivel y la frecuencia de actividad física de una persona. A continuación se presentan en la tabla 5.6. algunos valores estándares, relacionados con la población de los Estados Unidos, que pueden ser útiles en la estimación de la dosis de exposición:

**Tabla 5.6.- Valores estándares normados para la exposición a polvos en la población de Estados Unidos.**

<b>Peso Corporal</b>	
70 Kg	Promedio para adulto.
16 kg	Percentil 50 para niños de 1 a 6 años
10 kg	Infante.
<b>Duración de la Exposición</b>	
70 años por toda la vida, por convención.	
30 años percentil 90 de vivir en una sola residencia (valor promedio).	

Los valores normales en el ser humano, recomendados para ingesta diaria de aire, se muestran en la tabla 5.7:

**Tabla 5.7.- Valores normales recomendados para ingesta diaria de aire en el ser humano.**

<b>Edad (años)</b>	<b>Inhalación de aire (m<sup>3</sup>/día)</b>
0-<0,5	2
0,5-<5	5
5-<12	12
12-<20	21
>20	23

Existen valores promedio de referencia según los niveles de actividad durante ocho horas por día; las actividades analizadas son trabajo, descanso y actividad de ligera a moderada.

### **5.3.2. Proceso de absorción de polvos en el ser humano.**

En la figura 5.4, se representó el sistema respiratorio superior del ser humano, conformado por: cavidad nasal, faringe, laringe y traquea <sup>30,31</sup>, este sistema se ve dañado cuando los contaminantes gaseosos y partículas mayores de 10 micras de diámetro no exhalados, se remueven haciendo contacto con el forro



mucoso, en donde encontramos las células ciliadas, llamadas así gracias a que tienen unos pelillos (cilios), que como se aprecia en la figura 5.5., se mueven de lado a lado para remover el moco, para llevarlo hacia la boca y luego expulsarlo por medio de la tos.

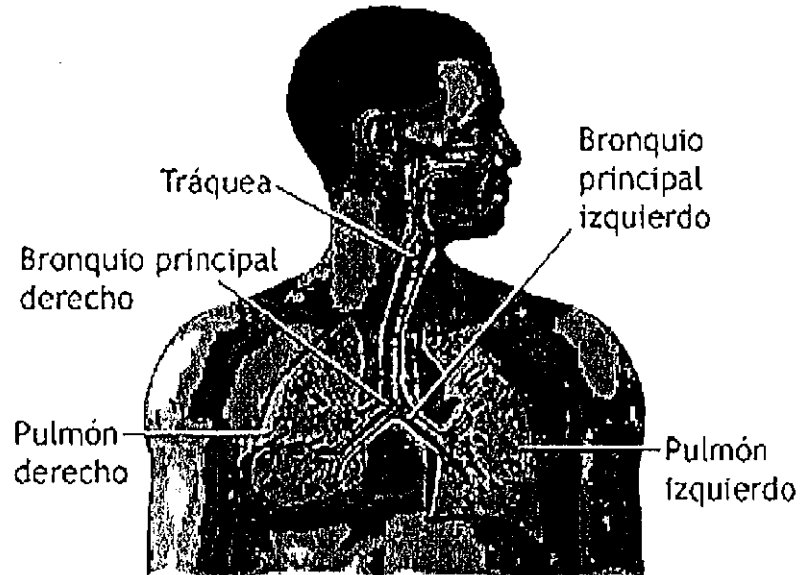


Figura 5.4. Esquema del sistema respiratorio del ser humano.

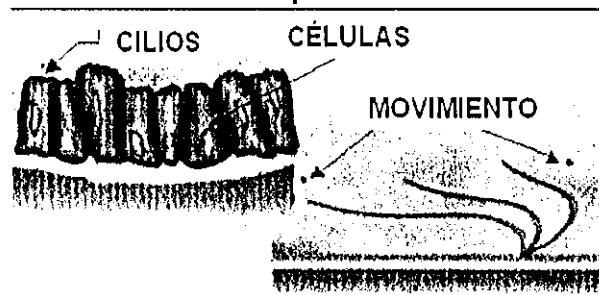
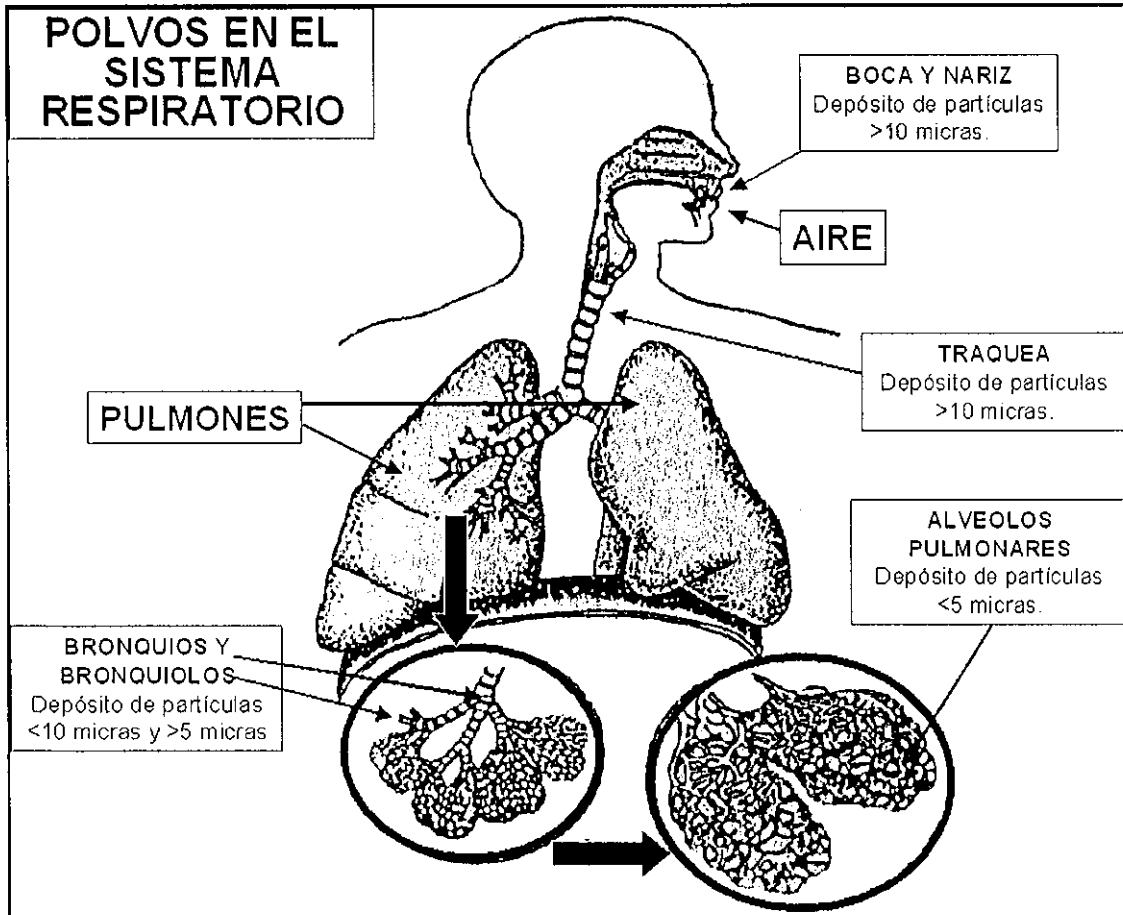


Figura 5.5. Esquema de células ciliadas.

Las partículas menores de 10 micras de diámetro se conocen como polvo respirable <sup>26</sup>, pueden llegar a áreas más remotas de los pulmones y penetrar profundamente hasta los bronquiolos respiratorios y alvéolos, produciendo bronquitis, enfisema, cáncer pulmonar <sup>16,18,19,24</sup> y daño al sistema circulatorio, el cual está altamente relacionado con el sistema respiratorio <sup>16</sup>.

Sin embargo, no sólo es importante el tamaño, sino que también la forma y la densidad de las partículas, por lo que en la figura 5.6. se indica el proceso de absorción de polvos en el sistema respiratorio humano, mismo que comienza cuando el aire se introduce en la nariz, donde el vello fino filtra la mayor parte de las partículas más grandes que miden alrededor de diez micrómetros de diámetro; el aire calienta y humedece, y entonces se filtra a través de la tráquea, hacia el interior de los conductos bronquiales, los cuales subdividen la

corriente de aire al introducirlo en los pulmones, donde hay una multiplicidad de sacos de aire (alveolos pulmonares) en esta sección del pulmón es donde el oxígeno y los contaminantes del aire se pueden absorber y transferir a la corriente sanguínea.



**Figura 6. Proceso de absorción de polvos en el sistema respiratorio humano.**

La sedimentación es el mecanismo responsable de la mayoría de los depósitos en las vías aéreas proximales. El llamado impacto inercial es responsable de los depósitos en la nariz y vías mayores. La intercepción es responsable del depósito de partículas irregulares y fibrosas. Las partículas fibrosas largas tienden a orientarse en el sentido de la corriente aérea y evitan la sedimentación y el impacto inercial en las vías mayores, hasta que son interceptadas por colisión en las paredes de los bronquiolos terminales y respiratorios, especialmente en las bifurcaciones. La difusión afecta sólo a las partículas más pequeñas (menos de 0,1 micrómetros).

## 5.4. Descripción de la Zona de Estudio.

### 5.4.1. Localización.

Como se señala en la figura 5.7., la zona de estudio se localiza al Noreste de Tonalá, que junto con Tlaquepaque, Zapopan y Guadalajara, es uno de los principales municipios de la Región No.12, denominada como Centro. Tonalá colinda al Norte con Zapotlanejo, al Este con Zapotlanejo y Juanacatlán, al Sur con el Salto y al Oeste con Tlaquepaque y Guadalajara. El Municipio de Tonalá tiene una superficie de 15,700 hectáreas, se ubica en la parte central del Estado a los 103°15' de longitud Oeste y a los 20°37' de latitud Norte, a una altura de 1,660 metros sobre el nivel del mar <sup>21</sup>.

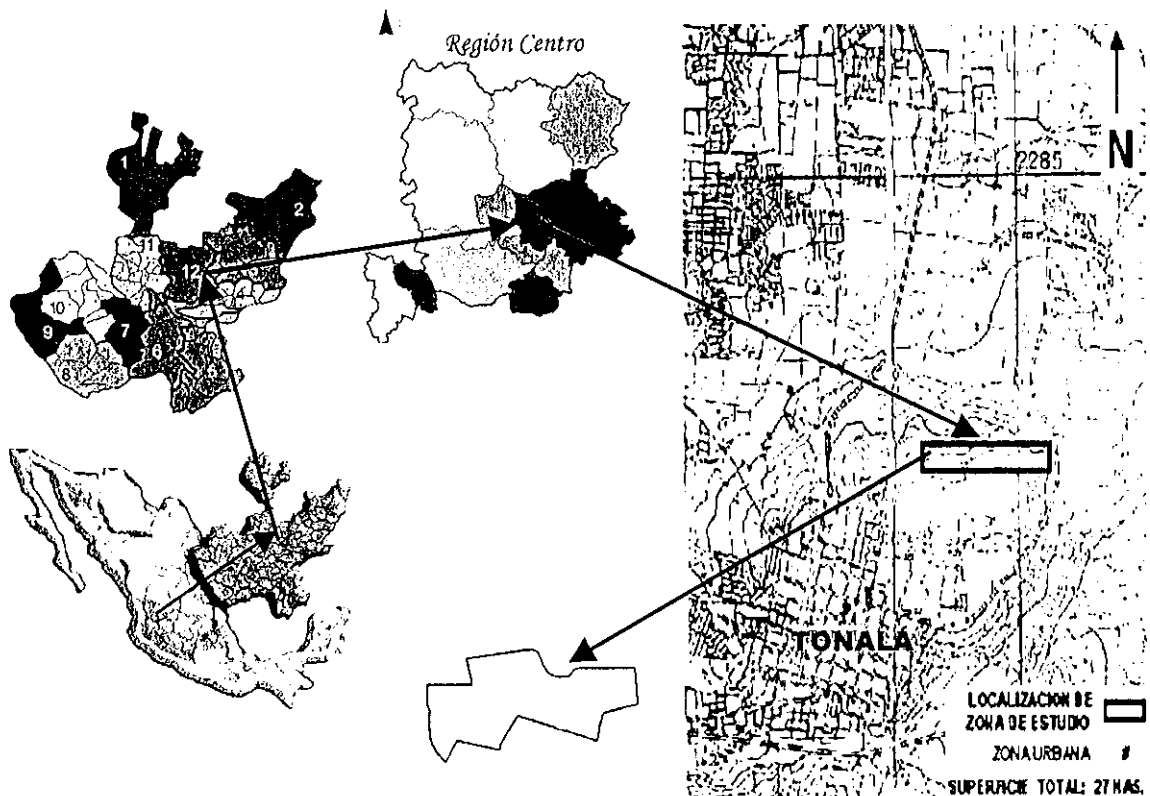


Figura 5.7. Croquis de localización de la zona de estudio.

La PPAC, motivo del presente estudio se localiza en el kilómetro 2.5 del Antiguo Camino a Coyula, en el municipio de Tonalá, Jalisco. Hacia el norte de la zona de estudio se encuentran terrenos ejidales utilizados para la agricultura y un terreno en el que recientemente se ha tirado basura y cascajo. El centro poblacional más cercano a la zona de estudio se encuentra a 500 metros aproximadamente, lo que origina que exista una fuerte presión urbana para la PPAC.

#### **5.4.2. Descripción del Medio Natural.**

Sobre la base de los estudios realizados por investigadores de la Universidad de Guadalajara <sup>44</sup>, se describen a continuación las principales características del Medio Natural y Socioeconómico de la zona de estudio:

**Clima.** El clima de la zona está representado por el tipo (A)C(w1)(w), de acuerdo con el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificado por Enriqueta García, se describe como un clima templado con tendencia a cálido, definido como semicálido subhúmedo, del grupo de los climas templados, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. La precipitación promedio anual es de 920 a 940 mm y la temperatura promedio anual de la cuenca oscila entre 19.5° y 21 °C, con una máxima promedio de 28° a 30° y una mínima de 11° a 13 °C. En lo referente a intemperismos severos, se puede decir que en el área se registran en promedio de 2 a 4 granizadas y 10 días con heladas anualmente.

**Geomorfología.** La zona de estudio se ubica al pie del Cerro de la Reina, genéticamente dentro de lo que se considera como Faja Volcánica Mexicana. El sitio de estudio se encuentra sobre las faldas del Cerro de la Reina, en una ladera cóncava, donde predomina una topografía con relieve ondulado y en pequeñas superficies escarpado. La morfología del Cerro de la Reina corresponde a una forma volcánica semidómica, formada a partir de diversos derrames de andesita, por lo que el lecho rocoso se encuentra entre los 10 y 50 centímetros de profundidad desapareciendo en algunas pequeñas áreas, por lo que se presentan estructuras diversas, mismas que van desde derrames masivos compactos potentes a derrames delgados lajeados hasta un intenso fracturamiento producto del diaclasamiento de enfriamiento, moderadamente intemperizados superficialmente; por lo que, la zona de estudio presenta un alto grado de infiltración, debido al fracturamiento "in situ" y antrópico, así como a la estructura típica de los derrames.

La zona de estudio se ubica dentro de la Faja Volcánica Transmexicana, una provincia caracterizada por una actividad tectónica y volcánica reciente, a pesar de ello, el único volcán activo que puede afectar el área por emisión de tefras es el Volcán de Colima, como ya ha sucedido en antaño. Sin embargo, la afectación se limitaría a un pequeño depósito de ceniza. En cambio, la posibilidad de un evento sísmico es relativamente alta, mayor al 50% <sup>31,27</sup>, esta actividad puede estar asociada al movimiento de placas (Norteamericana, Rivera y de Cocos), de darse esta actividad, el impacto del sismo se esperaría que no fuera mayor a los que se han sufrido en tiempos históricos recientes, debido a la distancia existente con el epicentro y específicamente para el sitio de estudio los daños serían mínimos, reduciéndose los daños a posibles deslizamientos de material inestable en los frentes de explotación, con los peligros que esto involucraría. De darse un evento sísmico producto de la actividad del denominado *gap* del Río Grande de Santiago, la repercusión sería

severa, no solo para la obra, sino en general en toda la zona urbana, dado que el epicentro estaría muy cercano a la zona de estudio.

**Suelos.** En el área de estudio, se presenta la asociación de unidades de suelos Feozem lúvico (HI)+Luvisol férrico (Lf), en la cual se tienen como dominante una clase textural media. En las áreas aledañas se presenta la asociación de unidades de suelos Feozem háplico+Litosol (I) con clase textural media como dominante y la unidad de suelos Regosol éutrico (Re) con una clase textural en donde predominan las partículas gruesas (arena) en los primeros 30 centímetros superficiales del suelo. Se presenta la asociación de unidades de suelo Feozem lúvico (HI)+Luvisol férrico como unidades básicas en cuanto a composición de los suelos del área; y se presentan en estos suelos características de ambas unidades, con fertilidad nativa aceptable.

El análisis de una muestra colectada en el área de confinamiento de material de desecho (polvo de roca y suelo) de la molienda de la materia prima (roca) destaca el alto valor de capacidad de intercambio de cationes (35 Me/100 g), lo cual, junto con el valor de pH y los valores de determinaciones físicas indica que es un material parcialmente utilizable en el proceso de revegetación del área. Los valores de agua aprovechable en estos suelos son muy aceptables, así también las clases texturales francas predominantes ratifican que estos suelos tienen aceptable capacidad de almacenamiento de agua antes de llegar a su capacidad de saturación, que es el punto a donde se inicia el riesgo de erosión del recurso suelo.

**Hidrología.** La microcuenca donde se ubica el sitio de estudio, pertenece a la región hidrológica No. 12 (Lerma-Santiago), Subregión 12 E Santiago-Guadalajara. El Río Grande de Santiago es la corriente de mayor importancia para el estado de Jalisco y en la región, a donde drenan afluentes de primer, segundo y tercer orden, para así, constituir un sistema de drenaje subdendrítico-paralelo al Norte y Noreste de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Según los balances de la CNA en 1996, para la cuenca R. Santiago-Guadalajara el escurrimiento medio anual es de 1,120.19 mm<sup>3</sup>, procedentes de un volumen medio precipitado de 8,961.58 de mm<sup>3</sup> por año y un coeficiente de escurrimiento de 12.5%. Así, las estimaciones calculadas reportan una disponibilidad de 1,996.5 mm<sup>3</sup>, por lo tanto, el balance hidrológico de la cuenca es positivo hasta la fecha reportada.

Los límites de la microcuenca fueron definidos delimitando sus parteaguas, empleando para ello mapas fotogramétricos, es decir, la carta topográfica base F-13-D-66 a escala 1:50,000, editada por INEGI. Esta microcuenca, presenta una superficie aproximada de 250 hectáreas, con forma semirectangular y eje mayor en sentido E-W. Presenta una pendiente del 5%, con un desnivel que va de los 1,700 a los 1,650 msnm.

La microcuenca en donde se localiza el área de estudio, se clasifica como de textura gruesa con una escorrentía superficial pobre, con roca subyacente-

superficial resistente, con cierto grado de permeabilidad y suelos con características de permeabilidad variable, por lo que la densidad de drenaje superficial de aguas pluviales es baja, así como la densidad de las corrientes. La topografía de la microcuenca presenta un relieve plano en valle ondulado con pendientes mayores al 10%. La microcuenca se clasifica como de textura gruesa con una escorrentía superficial pobre, con roca subyacente-superficial resistente, con cierto grado de permeabilidad y suelos con características de permeabilidad variable. Presenta una densidad de drenaje, que cuenta con 0.250 kilómetros de corrientes, lo cual se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{\text{Longitud total de corrientes (km)}}{\text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}} = \frac{0.250}{2.5} = 0.1$$

El resultado de la ecuación nos indica que la densidad de drenaje (Dd) es baja, ya que se tiene menos de un kilómetro de cauce por kilómetro cuadrado de área. En lo que respecta a la densidad de las corrientes, se tiene sólo un cauce en la microcuenca y para su evaluación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Dc = \frac{\text{Número de corrientes}}{\text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}} = \frac{1}{2.5} = 0.4$$

El resultado anterior nos indica una densidad de corrientes baja, ya que cuenta con menos de un cauce por kilómetro cuadrado. Como principales arroyos y cuerpos de agua cercanos, se identificó que al interior de la microcuenca se ubica un pequeño arroyo de carácter temporal que se origina en sus inmediaciones con una longitud de 250 metros, el cual se pierde en este punto, al ser interrumpido por la construcción del camino a la población de Coyula. A una distancia de 3.5 kilómetros se localiza el Río Grande de Santiago, en la cota 1,300 msnm. En la cara N-E y fuera de la microcuenca se localizan 7 arroyos de carácter temporal, que en su mayoría drenan sus aguas al Río Grande de Santiago.

A una distancia de 2.5 kilómetros al Sureste de la microcuenca se ubica la Presa El Ocotillo, en la cota 1,550, la cual recibe aguas de diferentes arroyos de carácter temporal. Esta presa conserva agua generalmente durante todo el año, está invadida por vegetación hidrófita y sus aguas son aprovechadas parcialmente como abrevadero de ganado y aguas abajo se tienen norias, con las que se riegan pequeñas superficies donde se cultivan hortalizas. Esta zona está declarada como de veda para la extracción de pozos, según decreto del 13 de Abril de 1,976; por lo que está restringido a usos principalmente domésticos, ya que el agua extraída se clasifica como dulce.

La densidad de pozos para este fin es mayor de tres pozos por kilómetro cuadrado. Para el cálculo de volumen de escorrentía y gasto de la microcuenca,

se consideran los datos de la estación meteorológica de Guadalajara, así como los datos de lluvia máxima en 24 horas. La determinación del gasto o avenida máxima extraordinaria se estima mediante el método Racional Americano Modificado, ya que se cuenta con datos de la lluvia máxima en 24 horas. Los datos reportados por la estación Guadalajara, indican una intensidad de lluvia máxima de 915 mm (9.15 cm), mismo que se tomó de base para el cálculo del gasto máximo. A partir de la ecuación del Método Racional Modificado se tiene:

$$Q = 0.028 C L A$$

Donde:

0.028 = Constante numérica.

C = Coeficiente de escurrimiento ponderado.

L = Lluvia máxima en 24 horas.

A = Área de la cuenca (Ha).

Q = Escurrimiento Máximo en m<sup>3</sup> por segundo.

Sustituyendo en la ecuación:

$$Q = 0.028 (0.30) (9.15) (250)$$

$$Q = 19.215 \text{ m}^3 \text{ por segundo.}$$

La red de drenaje se define solamente en el área plana de la microcuenca, formando una pequeña cárcava por la erosión del material superficial y cuyas aguas se infiltran en la parte baja de dicha microcuenca, lo que limita su aprovechamiento.

**Vegetación.** En la zona de estudio, por las condiciones climáticas, topografía, suelo, etc., debió existir selva baja o matorral antes de ser desplazadas por el establecimiento de las actividades agrícolas, ganaderas y posteriormente por la extracción de material geológico. Actualmente, en el predio y en las inmediaciones no hay comunidades maduras, solo existe vegetación secundaria, característica de la denominada como pastizal inducido, está constituida por una pradera de gramíneas de talla mediana, perennes, blandas y algunas duras principalmente, ocupando en el predio terrenos ondulados.

La principal especie presente en el área de estudio en el estrato arbóreo es *Pithecellobium dulce*, como especie arbórea, consecuencia de desmontes para la siembra de temporal, pero que al parecer antes de la tala fue una vegetación de Selva baja y en el estrato arbustivo las especies son más abundantes y se encuentran mezcladas en el pastizal como: *Verbesina greenmanii*, *V. Croccata*, *Acacia farnesiana*, *Ricinus communis*, *Hyptis albida*, *H. Rhytidea*, *Asterohyptis stellulata*, *Baccharis pteronoides*, *Nicotiana glauca*, *Lantana camara* y *Solanum madrense*, en el estrato herbáceo tenemos: *Eleusine indica*, *Cynodon dactylon*, *Rhynchelytrum repens*, *Digitaria sanguinalis* *Eragrostis plúmbea*, *E. Mexicana*, *Aegopogon sp.*, *Paspalum plicatulum*, *Aristida schiedeana*, *Chloris gayana* y *Bouteloua repens*, estas gramíneas se encuentran mezcladas con otras herbáceas que son: *Phytolacca icosandra*, *Tithonia tubaeformis*, *tagetes*

*micrantha*, *Zinnia angustifolia*, *Datura stramonium*, *Physalis sp.*, *Amaranthus hybridus*, *Crotalaria pumila*, *Chamaecrista rotundifolia*, *Dalea pectinata*, *Verbena bipinnatifida*, *Argemone ochroleuca*, *Walteria americana*, *Mitracarpus hirtus*, *Sida spinosa*, *Evolvulus alsinoides*, *Zornia reticulata*, *Euphorbia hirta*, *Conyza canadensis* y *Gomphrena nítida*.

El predio en donde se ubica la zona de estudio, se encuentra desprovisto de vegetación casi en su totalidad por los trabajos de extracción de material geológico y la urbanización, Lo contrario ocurre en un radio de 500 metros de las inmediaciones de la PPAC, por ello, los registros de fauna presentados más adelante, se refieren a los alrededores, tanto hacia la parte baja del cerro como hacia la parte baja. Todas las especies presentadas en tablas 5.8. y 5.9., se encuentran alrededor del predio, principalmente por la parte de arriba de la zona de explotación, que es donde se encuentra más vegetación. No existe vegetación endémica y/o en peligro de extinción, según comparación hecha con las normas ambientales vigentes.

**Tabla 5.8.- Porcentaje en cobertura de pastizal inducido.**

<b>Elemento del Pastizal Inducido</b>	<b>Porcentaje</b>
Arbustiva	6.25
Herbacea	46.08
Mantillo	25.06
Piedra	18.79
Suelo	9.27
<b>Total</b>	<b>105.45</b>

**Tabla 5.9.- Listado de especies vegetales encontradas en mayor proporción.**

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>
Pithecellobium dulce Roxb.	Leguminosae
Opuntia sp.	Cactaceae
Verbesina greenmanii Urb.	Compositae
V. croccata Cav.	Compositae
Acacia farnesiana	Leguminosae
Hyptis albida H.B.K.	Labiatae
H. rhytidea Benth	Labiatae
Asterohyptis stellulata (Benth) Epling	Labiatae
Ricinus communis L.	Euphorbiacea e



Las únicas especies de interés comercial que se encontraron dentro de la zona de estudio fueron: *Pithecellobium dulce* (Guamuchil), *Opuntia sp.* (Nopal), *Ricinus communis* (Higuerilla) y *Chloris gayana* (Sacate rodex).

**Fauna.** El predio de estudio se encuentra desprovisto de vegetación casi en su totalidad, debido a las actividades de extracción de material geológico, lo que hace prácticamente nula la presencia de fauna dentro de los límites del predio en donde se localiza la PPAC, por ello, los registros de fauna que aquí se presentan se refieren a los alrededores del predio en estudio, tanto hacia la parte alta del cerro como hacia la parte baja, así mismo, rumbo al oeste y noreste de la zona de estudio se localizan otras pedreras, con una tecnología menos avanzada para la trituración de roca, que han propiciado que la presencia de fauna dentro de sus límites sea prácticamente nula y que exista el tránsito casi permanente de animales domésticos, tales como perros y gatos, promovido por la fuerte presión urbana que ejerce la cercanía de la cabecera municipal.

Lo anterior y la época del año en que se realizó el recorrido originan que el número de registros de fauna se vean reducidos. Así mismo, no se localizó ninguna fuente de agua permanente, ni evidencia de que éste sitio funcione como un corredor de fauna, especialmente de mamíferos. Se detectó que a pesar de que en su parte Sur el predio colinda con un campo de tiro, donde se realizan actividades tres días a la semana (jueves, sábado y domingo), el listado de especies (principalmente aves) no parece estar muy afectado. Hacia el oriente del predio se registró el mayor número de especies, en unos terrenos donde existen pequeños huertos y cultivos, cruzando un camino de por medio entre estos y el predio de estudio. Cabe señalar que no se cuenta con reportes o listados de fauna anteriores para la zona de estudio, solo existen antecedentes de aves de la zona de la Barranca, la cual es la más cercana al predio de referencia, por lo que en la tabla 5.10 se presenta el listado de la fauna observada y potencial en la zona de estudio:

**Tabla 5.10.- Listado de la fauna observada y potencial en la zona de estudio.**

<b>Mamíferos</b>			
<b>Fauna Observada</b>		<b>Fauna Potencial</b>	
Ardillas	<i>Sciurus sp.</i>	* Coyote	<i>Canis latrans</i>
Tuzas	<i>Pappogeomys sp.</i>	* Zorra gris	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
Conejo	<i>Sp Mephitis Macroura</i>		
Zorrillos	<i>Mustela frenata</i>		
Comadreja	<i>Rattus novergicus</i>	* Ocasionales	
Ratas Ratones	<i>Mus musculus</i>		

Murciélagos	No determinado		
<b>Reptiles</b>			
Lagartija	Sceloporus sp.		
Lagartija	Anolis sp.		
Lagartija espinosa	Sceloporus scalaris		
Culebra ratonera	Elaphe sp.		
Lagartija listada	Cnemidophorus sp.		
<b>Aves</b>			
Torcaza	Columbia inca	Zopilote común	Coragyps atratus
Torcaza	Columbia passerina	Aura cabeciroja	Cathartes aura
Huilota	Zanaida macroura	Paloma alas blancas	Zenaida asiática
Lechuza	Tyto alba	Chupaflor	Cnanthus latirostris
Ticuz	Crotophaga sulcirostris	Chupaflor	Amazilia violiceps
Garcilla garrapatera	Pytocephalus rubinus	Mosquerito	Empidonax trailli
Colorín	Tyrannus crassirostris *	Mosquerito	Empidonax minimus
Madrugador	Hirundo rustica *	Luis grande	Pitangus sulphuratus
Verdugo	Lanius ludovicianus	Sonajita	Passerina versicolor
Pico gordo azul	Guiraca caerulea	Gorrión morado	Quiscalus mexicanus
Zacatonero	Aimophila botteri	Zanate	Forpus cyanopygius
Zacatonero	Poetes graminicus		
Calandria	Icterus cucullatus		
Gorrión	Carpodacus mexicanus		
Gorrión común	Passer domesticus		
Zopilota común	Coragyps atratus		
Aura cabecirroja	Cathartes aura		
Codorniz	Colinus virginianus		
Paloma de alas blancas	Zenaida asiática		
Alcabuz	Leptotila verreauxi		
Catarinita	Coccyzus minor		
Vaquero	Piaya cayana		
Correcaminos, Paisano	Geococcyx velox		

Tecolote orejón	Tyto alba		
Mochuelo café	Ciccaba virgata		

### **5.4.3. Descripción del Medio Socioeconómico.**

La zona de estudio se localiza en la Sub-Región Centro Conurbado, específicamente en la localidad de Tonalá, cuya clave Municipal es 101. Tonalá es un municipio que presenta una superficie de 120 km<sup>2</sup>, se localiza al suroeste del estado de Jalisco. Este municipio tiene un total de 34 localidades, las principales ciudades y/o localidades de este municipio son: la cabecera municipal de Tonalá, Puente Grande, Coyula, Tololotlán, y La Punta, se concentra la mayor cantidad de población es obviamente la cabecera municipal. El mayor número de trabajadores que absorbe el mercado de Trabajo se encuentra en los sectores industrial y comercio, identificándose que este Municipio esta clasificado como agropecuario, industrial, turístico y conurbano, sus principales vocaciones son: la siembra de maíz, y hortaliza. Sus principales actividades productivas, se concentran en la producción artesanal. Las actividades económicas en la zona de estudio, son preponderantemente relacionadas con la industria y el comercio o de mercado, ya sea como empleados y obreros, principalmente del sector secundario; sin embargo, se llevan a cabo actividades primarias (agrícolas y pecuarias) hacia el oriente de la zona de estudio, para autoconsumo y venta local, lo que les permite tener un ingreso extra.

Entre los principales servicios públicos se encuentran los medios de comunicación, a este respecto, en la zona de estudio se cuenta con correo, telégrafo, teléfono, fax, señal de radio y televisión, sistema de televisión e internet por cable, comunicación vía satélite, radiotelefonía y telefonía celular. Otro importante servicio son los medios de transporte, que en la zona de estudio se realiza vía terrestre a través de las carreteras Guadalajara-México; Guadalajara- Saltillo y Guadalajara-Tepatitlán, se cuenta también con una red de caminos revestidos, de terracería y pavimentados que comunican a las localidades. Por su importancia, destaca la autopista que comunica el centro del Estado de Jalisco con los Estados de Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Querétaro y D. F.

La transportación ferroviaria se efectúa mediante la línea Guadalajara-Nogales del sistema Ferrocarril del Pacífico, exclusivamente para movimiento de carga, el otro trayecto lo cubre la ruta Guadalajara- México por el sistema de Ferrocarril del centro, transportando carga. Para el servicio público aéreo se cuenta con el Aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo y Costilla, este se localiza en el Municipio de Tlajomulco de Zúñiga a 40 minutos de la zona de estudio por vía terrestre. La transportación foránea terrestre se realiza en autobuses directos y de paso desde la Central Camionera ubicada en el Municipio de Tlaquepaque en los límites con Tonalá, Jalisco.

La transportación urbana y rural se puede realizar en vehículos de alquiler, particulares y autobuses. Respecto a los medios de transporte que circulan en la zona de influencia de 5 Km., se pueden mencionar dos tipos: el transporte privado, compuesto por vehículos particulares o taxis y transporte público, compuesto principalmente por camiones, autobuses y minibuses, de las empresas Servicios y Transportes (SYT) y SISTECOZOME. Entre otros servicios, el Municipio ofrece a sus habitantes los servicios de alumbrado público, mercados, rastros, estacionamientos, cementerios, vialidad, aseo público, seguridad pública, tránsito, parques, jardines y centros deportivos. En lo que concierne a servicios básicos el 94.8% de la infraestructura instalada dispone de agua potable, el 98.3% de alcantarillado y el 98.9% de energía eléctrica. Tonalá cuenta con servicio de agua potable. Sin embargo, aún se observan casas que carecen de este servicio en su interior, por lo que recurren al servicio a través de la llave pública o conexión de agua al predio que surte en ocasiones hasta a tres casas habitación. También se cuenta con servicio de recolección de basura por parte del H. Ayuntamiento de Tonalá, misma que se envía a un tiradero a cielo abierto.

El servicio educativo es hasta el nivel de enseñanza media, media superior, el nivel superior se cursa en Guadalajara. Más del 90% del total de viviendas utilizan como combustible el gas LP y el resto otros combustibles, tales como el petróleo o leña. Disponen de servicio de energía eléctrica más de 86% del total de viviendas, debido a que diversas viviendas aún se encuentran en proceso de construcción y/o deshabitadas. La localidad cuenta con zonas de recreo, tales como: centros deportivos, canchas de volley ball y básquet-ball, además de centros culturales orientados a elevar su nivel cultural a través del DIF municipal, además de contar con una Casa de la Cultura Municipal. La población de la zona de estudio y sitios aledaños requiere trasladarse 1.7 kilómetros para recibir asistencia de servicios de primeros auxilios en Tonalá, y para otros tipos de atención requieren ir hasta Guadalajara. Los medios de comunicación que utiliza la población de ésta localidad son el transporte urbano, servicio telefónico, líneas de transporte urbano, correos y telégrafos, principalmente. Existen varias líneas de transporte entre Guadalajara y Tonalá que trasladan pasaje cuya ruta más cercana a la zona de estudio es la 605, entre la colonia Jalisco y Tonalá. En cuanto a servicios de salud, la población de Tonalá acude a las instituciones de salud que se enuncian en la tabla 5.11:

**Tabla 5.11.- Instituciones de salud en el municipio de Tonalá.**

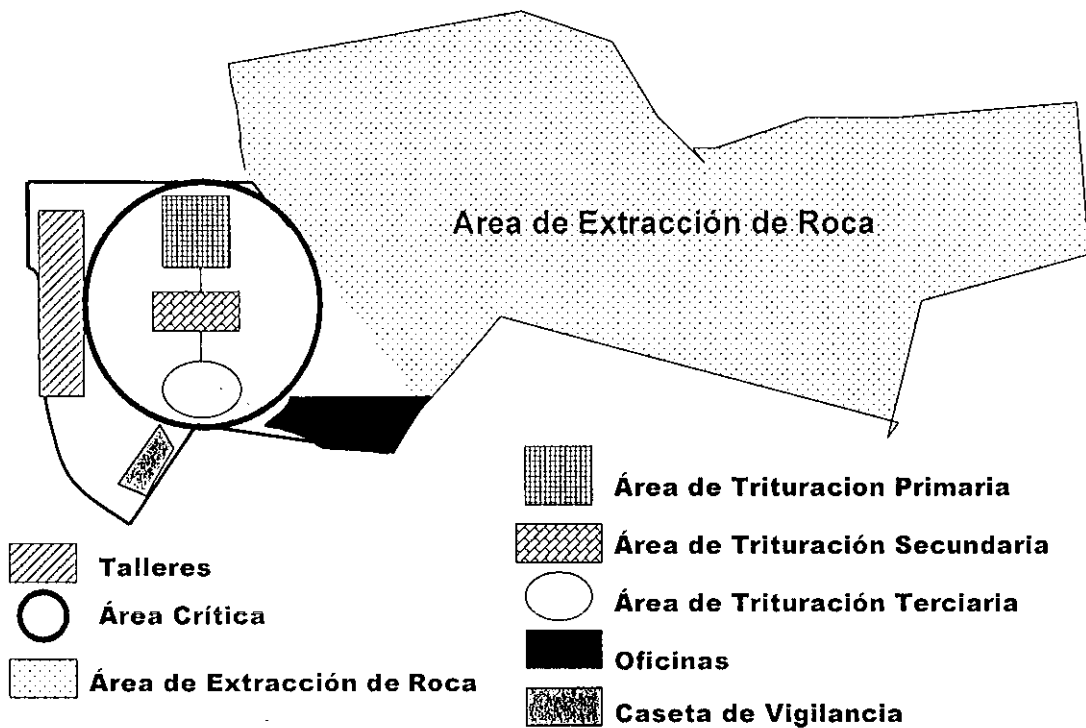
<b>Institución</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Adscripción</b>	<b>Nivel</b>
Clínica No. 93	Av. Tonaltecas	IMSS	Unidad Médica
Centro de Salud DIF	Loma Dorada	DIF	Unidad Médica
Centro de Salud Coyula	Coyula	SSJ	Unidad Médica
Centro de Salud	López Cotilla	SSJ	Unidad

Tonalá			Médica
Cruz Verde	Calle Hidalgo		Unidad Médica

**5.4.4. Caracterización del sitio en donde se ubica la PPAC.**

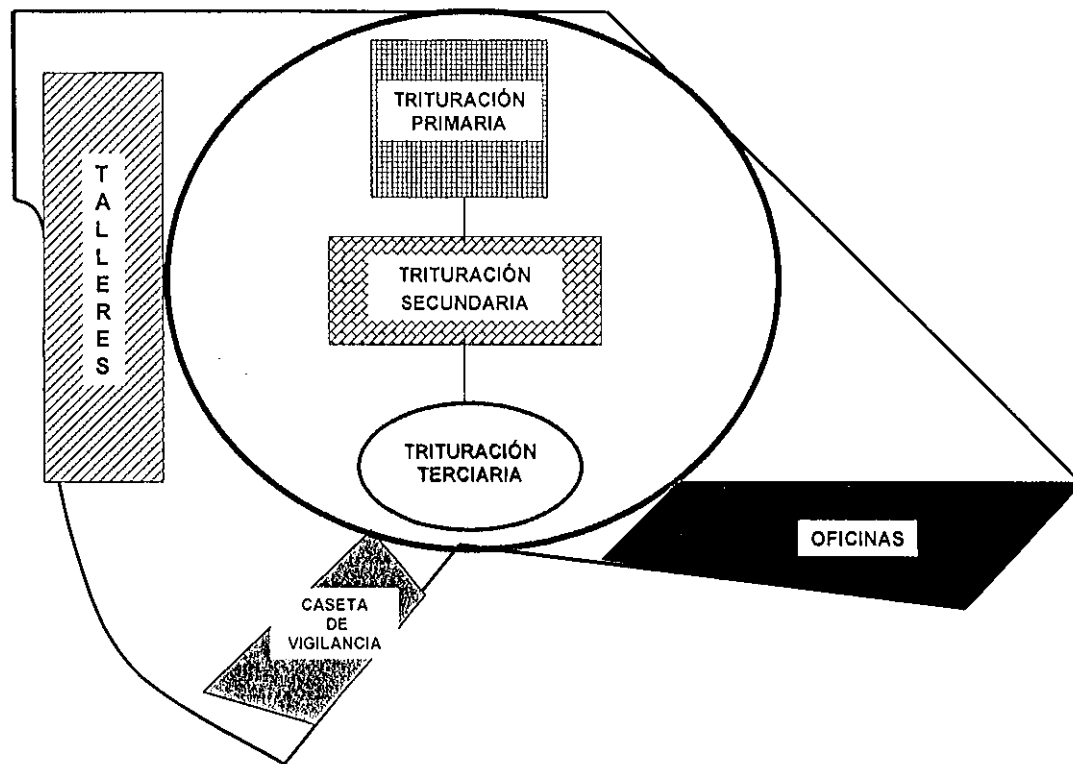
La zona de estudio abarca una superficie total de 27-00-00 hectáreas, de las cuales 06-00-00 hectáreas se destinan para actividades de trituración, cribado, almacenaje y oficinas en donde se realizan las transacciones de compra-venta de material, 05-00-00 hectáreas se asignaron para el área de polvorines, 06-00-00 hectáreas no se intervinieron debido a que esta sección territorial se reservó como área de amortiguamiento con respecto a los predios aledaños y en una superficie de 16-00-00 hectáreas se estableció el banco de material geológico y se almacenan explosivos. Con lo anterior, como se puede distinguir en la figura 5.8., en el área de estudio se ubican básicamente las siguientes áreas: oficinas, talleres, extracción de roca y trituración de roca.

**UNIVERSO DE TRABAJO.**



**Figura 5.8. Delimitación de áreas dentro de la zona de estudio.**

El área de trituración a su vez se divide en: trituración primaria, trituración secundaria, trituración terciaria y a un costado de esta última la planta de arena, siendo en esta sección territorial en donde se observó la mayor emisión de polvos, por lo que se denominó como zona crítica, misma que se representó en la figura 5.9.

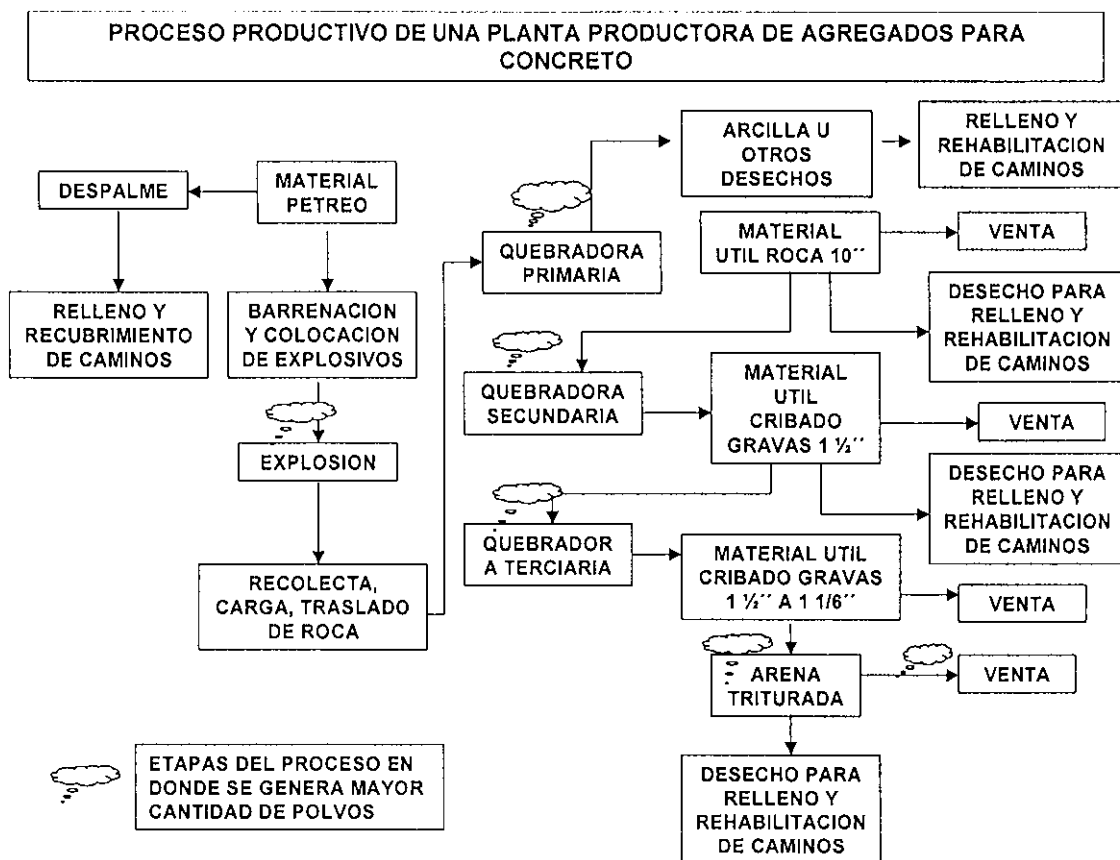


**Figura 5.9. Delimitación de la zona crítica.**

#### **5.4.5. Caracterización del proceso productivo de la PPAC.**

El proceso productivo que se realiza en la PPAC, consiste básicamente en extraer y triturar material pétreo, materia prima que se extrae del banco de material geológico ubicado al Oeste de la PPAC. Esta actividad se realiza desde Enero de 1996, para producir agregados del concreto, los cuales se venden dentro de la planta como roca de 10', gravas de 1 ½" a ¾", gravas de ½" a 1 1/6", arena triturada, para producir agregados para el concreto (grava y arena) y para la construcción en general. La instalación de la maquinaria y las primeras pruebas para la trituración de roca se realizaron a partir del 1 de Noviembre de 1995. Durante el proceso que se realiza en la PPAC, primero se extrae el material pétreo del banco de material geológico ubicado al Oeste del sitio de proyecto, realizando labores de despalme del terreno, barrenado y colocación de explosivos. Posterior a la explosión, se realiza la recolecta, carga y traslado de roca a la quebradora primaria, también llamada trituradora de quijada, donde este material es molido hasta un diámetro de 10" y enviado a bandas que lo depositan en el almacén, para después ser trasladado por medio de conos a la trituración secundaria, donde se generan gravas de 1 ½" a ¾", que se transporta nuevamente a las cribas, para llevar a cabo la separación por tamaño; el material de tamaño mayor de 1 ½" pasa a la trituración terciaria, y nuevamente a las cribas, donde se realiza la separación.

El proceso productivo que se realiza en la PPAC, se muestra en el diagrama de flujo de la figura 5.10, consiste primero en extraer el material pétreo del banco de material geológico, realizando labores de despalme del terreno, barrenado y colocación de explosivos. Posterior a la explosión, se realiza la recolecta, carga y traslado de roca a la quebradora primaria, también llamada trituradora de quijada, mediante una pala mecánica o cargadora frontal y se transportan con maquinaria pesada removedora de tierra, donde este material es molido hasta un diámetro de 10" y enviado a bandas que lo depositan en el almacén, para después ser trasladado por medio de conos a la trituración secundaria, de donde se transporta nuevamente a las cribas, para llevar a cabo la separación por tamaño; el material de tamaño más grande pasa a la trituración terciaria mayor de 1 ½", y nuevamente a las cribas, donde se realiza la separación.



**Figura 5.10. Representación gráfica del proceso productivo de una PPAC e identificación de fuentes de emisión de polvos.**

La trituración es el proceso en el cual los materiales gruesos se reducen por medio de energía mecánica y rozamiento hasta llegar al tamaño deseado en el tamiz. El esfuerzo mecánico que se aplica a los fragmentos de rocas o piedras durante la trituración, se puede llevar a cabo por compresión o por choque. Las trituradoras a compresión aprietan lentamente los fragmentos para que se fracturen, mientras que las de choque provocan la fractura abruptamente. Las primeras producen productos de grados relativamente cercanos, con una



proporción pequeña de elementos finos. Las segundas producen una gran variedad de tamaños y una alta proporción de elementos finos.

Las trituradoras a compresión tales como las mandíbulas o giratorias se utilizan usualmente para la producción inicial, aunque las de choque están ganando popularidad para triturar rocas de abrasión baja, tales como piedra caliza y talco, y cuando se requieren altos porcentajes de reducción, que normalmente es de 3 y 12 pulgadas (8 y 30 centímetros). El producto triturado y los materiales muy pequeños se descargan sobre una correa transportadora y usualmente son transportados a tamices y trituradoras secundarios, o a pilas o silos para su almacenamiento temporal. Generalmente los tamices secundarios separan el flujo de partículas en dos o tres fracciones (muy grandes, pequeñas y muy pequeñas) antes de que entren en la trituradora secundaria para seguir su proceso de reducción. Las trituradoras más comúnmente usadas para la trituración secundaria son las de tipo giratorio o de cono, aunque en algunas plantas se utilizan trituradoras de choque.

El producto de la etapa secundaria, usualmente de 1 pulgada (2,5 centímetros) o menos de tamaño, es transportado a los tamices terciarios para su separación ulterior. El material resultante de este tamizado se lleva directamente hacia una tercera etapa de trituración o se descarga en un recipiente de mineral fino que sirve de suministro para la etapa de molienda. Para la trituración terciaria se utilizan comúnmente trituradoras de cono o molinos de martillo. En la etapa de molienda se utilizan normalmente molinos, trituradoras de barra o bola, o molinos de martillo. El producto resultante de la trituración terciaria o molienda se transporta generalmente hacia unos equipos de rastrillo húmedo o de espiral. Aquellos materiales que aún sean muy grandes son devueltos a la trituradora terciaria o molino para su reducción adicional.

En esta etapa algunos productos finales del grado deseado son transportados directamente hacia recipientes de productos terminados o apilados en espacios abiertos por medio de camiones o correas transportadoras. Parte del material obtenido en la trituración secundaria y terciaria pasa a la planta de arena por medio de tolvas que alimentan los molinos para luego pasar a las cribas de separación. Durante la fragmentación de la roca, se generan como subproductos gravillas menores a 3/6". En cada una de las fases se genera polvo, el cual es parcialmente captado y transportado hacia un área de almacenamiento.

La PPAC cuenta con oficinas, cuyo montaje se realizó por el sistema de módulos prefabricados que no requirió de materiales de cimentación, así mismo, cuenta con la siguiente maquinaria y equipo: Para la mitigación de las emisiones de polvos a la atmósfera, alrededor de la Trituradora Primaria se instaló una caseta y un aditamento para recuperar el material de despalme que no pudo ser separado en su totalidad del material geológico, en el área de descarga del material por medio de los camiones a la Trituradora Primaria. Así mismo, cuenta con la siguiente maquinaria y equipo:



- 1 cargador frontal.
- 2 cargadores frontales L 320.
- 6 camiones fuera de carretera de 769.35 toneladas de capacidad.
- 2 tolvas receptoras de materia prima para una capacidad de 100 toneladas.
- 2 tolvas dosificadoras de 60 toneladas.
- 1 alimentador vibratorio grizzly 52 x 20.600 ton/hrs.
- 1 quebradora de quijada tamaño 42 x 48.250 hp 369 ton/hrs.
- 1 quebradora de quijada tamaño 36 x 42 150 hp 324 ton/hrs.
- 1 quebradora de cono, 60" 300 hp y capacidad de 425 ton/hrs.
- 2 cribas vibratorias 6" x 20", 3 camas, 40 hp, 280 ton/hora.
- 2 cribas vibratorias 6" x 20, 3 camas, 40 hp, 173 ton/hrs.
- 1 criba vibratoria 8" x 20", 3 camas, 40 hp 220 ton/hrs.
- 2 alimentadores vibratorios F 480, 450 ton/hrs.
- 1 banda transportadora 42" x 30", 50 hp.
- 2 bandas transportadoras 42" x 10", 15 hp.
- 1 banda transportadora 48" x 60" , 120 hp.
- 1 banda transportadora 42" x 60" , 60hp.
- 1 banda transportadora 42" x 53", 50 hp.
- 1 banda transportadora 42" x 10", 15 hp.
- 1 banda transportadora 36" x 30", 30 hp.
- 1 banda transportadora 36" x 25", 30 hp.
- 1 banda transportadora 30" x 30", 15 hp.
- 1 banda transportadora 30" x 30", 15 hp.
- 2 perforadoras.
- 7 bandas de transportación.
- 1 criba.
- 2 molinos.
- 1 sistema anticontaminante con:
  - 2 tanques para el almacenamiento de 10,000 litros de agua.
  - 1 bomba con espreas.
  - Bandas en cada cono de descarga para minimizar la emisión de polvos.

Así mismo, en la PPAC se instalaron cabinas en la base de descargue de la trituradora primaria para reducir la emisión de polvos, así como una cortina en la misma para evitar la salida de polvos y equipo para humidificar el material geológico que es transportado por medio de bandas a las áreas de Trituración Secundaria y Terciaria, además de filtros en la terminal de la banda que las transporta para captar los polvos generados, los cuales se almacenan y se venden.

## CAPÍTULO 6. METODOLOGÍA.

El presente, es un estudio, observacional, descriptivo y transversal que consta de los siguientes pasos:

### 1. Reconocimiento de la zona de estudio.

- Interpretación de cartografía del INEGI (escala 1:50,000), planos topográficos de la zona de estudio y fotografías aéreas.
- Recorridos in "situ" y en los alrededores del área de estudio.
- Recopilación bibliográfica.

### 2. Caracterización y análisis de la amenaza.

- Análisis del material pétreo de la zona de estudio.
- Identificación de las principales fuentes de emisión de polvos.
- Delimitación de la zona crítica
- Determinación de la concentración de partículas suspendidas totales (polvos) mediante los siguientes muestreos:
  - a) **Muestreo ambiental.** Con forme a lo enunciado en la Norma Oficial Mexicana: NOM-035-ECOL-1993, se realizó lo siguiente:
    - Colecta de información meteorológica de la zona y del mes o época en que se realiza el muestreo.
    - Elección de puntos de muestreo. Identificación del área de mayor afectación (área crítica).
    - Toma de muestra. Determinación de las concentraciones de contaminantes a nivel de piso, provenientes de una o más fuentes (viento arriba o viento abajo), mediante la colocación en los ocho puntos cardinales del área crítica de muestreadores de alto volumen (HI-VOL) con medidor de flujo calibrado, conectados a una fuente de poder de 110 volts (para la toma de energía), los cuales contienen filtros de fibra de vidrio o de celulosa (se recomienda los primeros), mismos que se colectaron en carpetas, para luego calcular el volumen de polvos retenido en base a la NOM-024-SSA1/1993 25.
  - b) **Muestreo personal.** Determinación de polvos totales, aplicando el procedimiento 053, contenido en la NOM-010-STPS-1999, que enuncia el método gravimétrico para la determinación de polvos totales en aire, por medio de lo siguiente:
    - Determinación del número de personas (puntos de muestreo) aleatoriamente y al azar.
    - Recolección de las muestras colocando en el cinto del trabajador seleccionado con anterioridad, una bomba de muestreo personal para recolección de muestras de aire durante 50 minutos para obtener un volumen aproximado de 100 litros. Estas bombas son previamente calibradas a un flujo aproximado de 2.0 lts/min., cuentan con un tubo flexible cuyo extremo se fija al cuello de la camisa del trabajador. Las

muestras de Partículas suspendidas totales se colectarán a través de filtros hidrofóbicos, de PVC 37 mm, 22 a 5 micrómetros de tamaño de poro o equivalente con un mínimo de dos muestras o réplicas durante una misma jornada de trabajo.

3. Determinación de síntomas relacionados con la exposición a polvos.
  - Censo y conformación del historial clínico, mediante la aplicación de encuestas a cada uno de los trabajadores de la PPAC (ver anexo).
  - Análisis de encuestas e identificación de trabajadores afectados por la exposición a polvos.
  - Cálculo de la distribución porcentual de las patologías registradas.
  - Identificación de las patologías más comunes y las relacionadas con la exposición a concentraciones de polvos en el aire ambiente, en base al número de casos que presentaron patologías y a la tasa de morbilidad).
  - Análisis de los resultados e identificación de trabajadores que presentaron patologías asociadas con la presencia de polvos en el ambiente (irritación de ojos y afecciones en vías respiratorias).
  - Identificación de relaciones entre variables a través de comparaciones directas entre las afecciones presentadas en los trabajadores, su edad, sexo, antigüedad y ocupación.
  
4. **Evaluación de la amenaza por la exposición a polvos.** En base a los criterios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se realizó la tabla 6.1.

**Tabla 6. 1.- Criterios para la evaluación de la amenaza.**

<b>CRITERIOS.</b>	<b>CATEGORIAS.</b>	<b>CARACTERISTICAS.</b>
a) Consecuencias a la salud y a la vida.	1 Sin importancia.	Molestia ligera temporal.
	2 Limitadas.	Algunos lesionados y molestias de larga duración.
	3 Serias.	Algunos lesionados serios y molestias serias.
	4 Muy serias.	Algunos (menos de 20 % muertos), varios lesionados serios (>20 %), menos de 50% evacuados.
	5 Catastróficas.	Varios muertos (>20%), 50% de lesionados serios, más de 50% de evacuados.
<b>CARACTERISTICAS.</b>		
b) Consecuencias al medio ambiente.	1 Sin importancia.	Sin contaminación y efectos localizados.
	2 Limitadas.	Contaminación simple, efectos localizados.
	3 Serias.	Contaminación simple efectos diseminados.
	4 Muy serias.	Contaminación grave, efectos localizados.

	5 Catastróficas.	Contaminación muy grave, efectos diseminados.
<b>COSTO TOTAL DEL DAÑO.</b>		
c) Consecuencias a la propiedad.	1 Sin importancia.	<5% del costo total del inmueble
	2 Limitado.	>5–20% del costo del inmueble
	3 Serias.	>20–50% del costo del inmueble.
	4 Muy serias.	>50-80% del costo total del inmueble
	5 Catastróficas.	>80% del costo total del inmueble
<b>CARACTERÍSTICAS.</b>		
d) Velocidad de manifestación de la amenaza.	1 Efecto evidente.	
	2	
	3 Efecto intermedio.	Efectos pequeños y con alguna distribución.
	4	
	5 Efecto sin advertencia.	Efectos ocultos hasta que están completamente manifiestos.
<b>ESTIMACIÓN GENERAL DE FRECUENCIA.</b>		
e) Probabilidad de ocurrencia.	1 Improbable.	Menos de una vez por cada 1000 años.
	2	Una vez por cada 100 a 1000 años.
	3 Medianamente probable.	Una vez por cada 10 a 100 años.
	4	Una vez por cada 10 años.
	5	Más de una vez por año.

Luego de identificar los valores (puntaje) para cada uno de los parámetros relacionados con la amenaza, en la tabla 6.2. se establecieron cinco niveles de amenaza en los posteriormente se ubicó el resultado obtenido.

**Tabla 6.2.- Niveles de Amenaza.**

Categorías	Puntaje	Nivel de Amenaza
Bajo	< 5	1
Ligeramente Bajo	>5–10	2
Medio	>10–15	3
Ligeramente alto	>15-20	4
Alto	>20-25	5

2. **Identificación y análisis de la vulnerabilidad.** Para conocer el estado de salud que presentaban los trabajadores de la PPAC e identificar a las personas con mayor susceptibilidad (vulnerabilidad), se realizó lo siguiente:
  - Caracterización de la población en estudio.
  
5. **Evaluación de la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC.** Se realizó en base a la demanda, que se obtuvo en base a la identificación de las

características de la población, requerimiento de servicios de salud, etc., así como de la oferta de maquinaria, equipo y servicios de salud que brinda la PPAC para prevenir o mitigar afectación a los trabajadores por exposición a polvos).

a) **Demanda.** Para la obtención de la Demanda (D), se definieron las características de la población en estudio, estableciéndose para cada parámetro cinco categorías, tal como se señala a continuación:

- **Estructura según la edad.** Se determinó en base al porcentaje de personas con sesenta y cinco años o más, debido a su mayor propensión a ser afectados por la exposición a polvos; posteriormente se clasificaron en cinco categorías a las cuales se asignaron los siguientes puntajes señalados en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3.- Puntaje respecto a grupos etéreos.**

Grupos Etéreos (No. de trabajadores mayores de 65 años)	Puntaje
0 - > 20%	1
21 - < 40 %	2
41 - < 60 %	3
61 - < 80 %	4
81 - 100 %	5

- **Estrato socioeconómico.** Se identificó el estrato socioeconómico de cada trabajador mediante la encuesta aplicada, con lo que se clasificaron a los trabajadores en base a los estratos socioeconómicos enunciados en la tabla 6.4.

**Tabla 6.4.- Puntaje respecto a estrato socioeconómico.**

Estrato Socioeconómico	Puntaje
Alto	1
Medio	2
Media Baja	3
Bajo	4
Marginado	5

- **Antigüedad en el trabajo.** Este parámetro se consideró, debido a que los padecimientos derivados de la exposición a polvos, en la mayoría de los casos, se manifiestan después de mucho tiempo de exposición, encontrándose referencias de hasta 20 años, por lo que se elaboraron en la tabla 6.5. las siguientes categorías:

**Tabla 6.5.- Puntaje respecto a antigüedad en el trabajo.**

Antigüedad en el Trabajo (años de antigüedad)	Puntaje
0-5	1
>5-10	2
>10-15	3
>15-20	4
>20	5

- **Porcentaje de Trabajadores que presentan patologías relacionadas con la exposición a polvos.** Mediante la identificación de los trabajadores que presentaron patologías relacionadas con la exposición a polvos, en la tabla 6.6. se determinaron los siguientes puntajes:

**Tabla 6.6.- Puntaje respecto al % de trabajadores con patologías relacionadas con exposición a polvos.**

% de Trabajadores con Patologías	Puntaje
0 – 20%	1
21 - 40 %	2
41 – 60 %	3
61 – 80 %	4
81 – 100 %	5

- **Uso de equipo de seguridad.** La exposición y por tanto, la afectación que pueda sufrir un trabajador, dependerá de la protección con la que cuente y de la periodicidad en que trabajadores utilizan el equipo de seguridad que la empresa les proporciona, por lo que se definieron los parámetros señalados en la tabla 6.7.

**Tabla 6.7.- Periodicidad en el uso de equipo de seguridad por parte de los trabajadores de la PPAC.**

Uso de Equipo de Seguridad	Puntaje
Siempre	1
Casi Siempre	2
Frecuentemente	3
Eventualmente	4
Nunca	5

- **Uso de servicio médico.** La revisión periódica del estado de salud, principalmente para detectar síntomas (en este caso relacionados con la exposición a polvos), contribuye al tratamiento temprano de las enfermedades, con lo que se tiende a disminuir y en ocasiones a erradicar el deterioro de la salud de los trabajadores. Sin embargo, en ocasiones, a pesar de que se cuenta con el personal especializado no se hace uso de este servicio, hasta que los efectos adversos (enfermedad) ya son irreversibles, por lo que se

consideró el uso del servicio médico como uno de los principales factores a analizar y en la tabla 6.8. se muestra el puntaje que se designa a cada parámetro para identificar la periodicidad con la que los trabajadores de la PPAC utilizan el servicio médico.

**Tabla 6.8.- Periodicidad en el uso del servicio médico.**

Uso de Servicio médico	Puntaje
Siempre	1
Casi Siempre	2
Frecuentemente	3
Eventualmente	4
Nunca	5

b) Oferta. Para obtener la Oferta (O), se identificó la infraestructura y recursos con los que cuenta la PPAC, para prevenir o mitigar los riesgos por exposición a polvos y, al igual que en la demanda, se establecieron 5 categorías para cada parámetro analizado. Estos parámetros se enuncian a continuación:

- **Dotación del equipo de seguridad adecuado.** El que los trabajadores cuenten con equipo de seguridad adecuado, es de suma importancia, puesto que contribuye a disminuir la exposición o la entrada de polvos a su organismo, por lo que en tabla 6.9. se consideraron los siguientes parámetros:

**Tabla 6.9.- Periodicidad de Dotación de Equipo de Seguridad Adecuado.**

Dotación de Equipo de Seguridad Especializado	Puntaje
Nunca	1
Eventualmente	2
Frecuentemente	3
Casi Siempre	4
Siempre	5

- **Capacitación.** Para determinar si la población se encuentra capacitada en el uso adecuado del equipo de protección, se tomaron en consideración los parámetros señalados en la tabla 6.10.

**Tabla 6.10.- Periodicidad con la que se capacita el personal.**

Capacitación del Personal	Puntaje
Nunca	1
Eventualmente	2
Frecuentemente	3
Casi Siempre	4
Siempre	5

- **Infraestructura y equipo para la mitigación de polvos en el centro de trabajo.** A fin de identificar las condiciones en las que se encuentra la infraestructura y el equipo de protección a polvos con los que cuenta la población en estudio, se observó lo que se enuncia en la tabla 6.11.

**Tabla 6.11.- Estado físico de la Infraestructura y equipo de la PPAC.**

Condiciones de la Infraestructura y Equipo del Centro de Trabajo	Puntaje
Muy Malas	1
Malas	2
Regulares	3
Buenas	4
Excelentes	5

- **Mitigación de emisiones de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca.** Se observó que labores se realizan para controlar la emisión de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca y se asignó un valor de acuerdo a la tabla 6.12:

**Tabla 6.12.- Labores para la mitigación de emisiones de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca.**

Mitigación de emisiones de polvos	Puntaje
Nunca	1
Eventualmente	2
Frecuentemente	3
Casi Siempre	4
Siempre	5

- **Médicos especializados en la PPAC.** Para conocer si a los trabajadores de la PPAC, se les otorgan los servicios de un médico especializado, principalmente en enfermedades relacionadas con la exposición a polvos, en tabla 6.13. se consideraron los siguientes factores:

**Tabla 6.13.- Periodicidad con la que se brindan servicios médicos especializados a los trabajadores de la PPAC.**

Médicos Especializados	Puntaje
Nunca	1
Eventualmente	2
Frecuentemente	3
Casi Siempre	4
Siempre	5

- **Sistema de Vigilancia Epidemiológica.** La implementación de estos sistemas son un apoyo importante, dado que nos permite establecer un diagnostico de



los factores que pueden propiciar la aparición de ciertas enfermedades, tanto en condiciones normales como en situaciones de desastre, por lo que en la tabla 6.14, se presentan parámetros para medir y conocer con que frecuencia se cuenta con un sistema de vigilancia epidemiológica en la zona de estudio.

**Tabla 6.14.- Frecuencia con la que se cuenta con un sistema de vigilancia epidemiológica.**

Sistema de Vigilancia Epidemiológica	Puntaje
Nunca	1
Eventualmente	2
Frecuentemente	3
Casi Siempre	4
Siempre	5

- c) **Niveles de Valoración de la Vulnerabilidad.** Se establecieron valores (puntaje) para cada uno de los parámetros relacionados con la oferta y la demanda y se establecieron en la tabla 6.15, cinco niveles de vulnerabilidad, en donde se ubicó el resultado obtenido.

**Tabla 6.15.- Niveles para cuantificar y valorar la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC.**

Categorías	Puntaje	Nivel de Vulnerabilidad
Bajo	< 5	1
Ligeramente Bajo	>5-10	2
Medio	>10-15	3
Ligeramente alto	>15-20	4
Alto	>20-25	5

6. **Evaluación de riesgos.** Para dar un valor final con el que se determine el nivel de riesgo en la PPAC, a partir de la puntuación obtenida para la amenaza por emisión de polvos y la vulnerabilidad de los trabajadores, se aplicó la fórmula:  $R = A \times V$ , señalada en el apartado 5.4. El resultado se ubicó en uno de los cinco niveles que se indican en tabla 6.16.

**Tabla 6.16.- Niveles de Riesgo.**

Categorías	Puntaje	Nivel de Riesgo
Bajo	< 5	1
Ligeramente Bajo	>5-10	2
Medio	>10-15	3
Ligeramente alto	>15-20	4
Alto	>20-25	5

El nivel de exposición potencial se identificó a partir de la en la tabla 6.17., contenida en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1993, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral, donde se establecieron cuatro categorías.

**Tabla 6.17.- Nivel de exposición potencial.**

GRADO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
0	No exposición	No exposición con la sustancia química
1	Exposición baja	Exposición poco frecuente con la sustancia química a bajos niveles o concentraciones
2	Exposición moderada	Exposición frecuente con la sustancia química a bajas concentraciones o exposición poco frecuente a altas concentraciones.
3	Exposición alta	Exposición frecuente a altas concentraciones
4	Exposición muy alta	Exposición frecuente a muy altas concentraciones.

La identificación de los efectos de la sustancia química a la salud, se realizó en base la tabla 6.18., contenida en la NOM-010 STPS-1994.

**Tabla 6.18.- Efectos de la sustancia química a la salud.**

GRADO DESCRIPCIÓN		CRITERIO DE TOXICIDAD POR INHALACIÓN.	
		Mg/l	Ppm
0	Efectos leves reversibles o sin efectos conocidos.	Mayor que 200	Mayor que 10000
1	Efectos moderados reversibles	Mayor que 20 hasta 200	Mayor que 2000 hasta 1000
2	Exposición moderada	Mayor que 2 hasta 20	Mayor que 200 hasta 2000
3	Exposición alta	Mayor que 0.2 hasta 2	Mayor que 20 hasta 200
4	Exposición muy alta	Menos de 0.2	Menos de 20

Con los datos obtenidos, se realizó una clasificación cualitativa del riesgo, conforme a la tabla 6.19., contenida en la NOM-010 STPS-1994.

Tabla 6.19.- Clasificación cualitativa del riesgo.

Efectos a la salud.	4					MUY ALTA
	3				ALTA	
	2			MODERADA		
	1		BAJA			
	0	INOCUA				
		0	1	2	3	4

- 7. Conclusiones y discusión. Análisis de los resultados del presente y otros estudios relacionados al tema.
- 8. Elaboración del documento final.

## CAPÍTULO 7. RESULTADOS.

### 7.1. Caracterización y evaluación de la amenaza por exposición a polvos.

A fin de caracterizar la amenaza por exposición a polvos fue necesario desarrollar lo siguiente:

#### 7.1.1. Análisis del material pétreo de la zona de estudio.

Se identificó que el material geológico presente en el área de estudio, y particularmente los polvos derivados de su trituración, están constituidos por partículas no especificadas de otra manera (NEOM), es decir por aquellas partículas para las que no existe evidencia de efectos tóxicos específicos. Estas partículas llamadas comúnmente "partículas molestas" no causan fibrosis o efectos sistémicos. Los resultados del análisis realizado al material pétreo de la zona de estudio por el Consejo de Recursos Minerales del Centro Experimental Tecamachalco, determinaron que dicho material corresponde a una roca de tipo andesítica porfídica de piroxenos, es decir, una roca ígnea extrusiva con cristales bien desarrollados con poco contenido de sílice y abundancia de piroxenos, de color gris oscuro, con estructura y textura compacta, dura, afánica. La microtextura de la roca presente en la zona de estudio se identificó como microlítica porfídica, tiene plagioplasas como componente principal en concentraciones de 50 a 75%, con forma cúbica y un diámetro de 303 micrómetros, en menor proporción (05 a 25%) se observaron: anfibioles, piroxenos y minerales opacos, con diámetros que oscilan entre 14 a 606 micrómetros), tal como se muestra en la tabla 7.1.

**Tabla 7. 1. Componentes principales de la roca presente en la zona de estudio.**

COMPONENTES PRINCIPALES	PROPORCION APROXIMADA (%)	TAMAÑO (Micras)
Plagioplasas Na	50 – 75	303
Anfibioles (lamprobolita)	5 – 25	21 a 606
Piroxenos (augita, hiperstena, diopsida)	5 – 25	35 a 305
Minerales opacos	5 – 25	14 a 202
Olivino	- 5	50 a 592
Apatito	- 5	2 a 40

Con lo anterior, se identificó que la roca de la zona de estudio presenta cristales alargados que no se observan a simple vista, por lo que su matriz o cementante es feldespática, así mismo, dicha matriz presenta diopida y recristalización de algunas plagioclasas en su estructura, lo que indica que esta roca aparentemente está siendo sometida a un metamorfismo incipiente. Así mismo, se observaron como componentes secundarios de la muestra biotita, sericita y olivino, materiales que se asocian con cicatrización y fibrosis pulmonar, así

como silicosis en el ser humano Los componentes secundarios de la roca presente en la zona de estudio se muestran en la tabla 7.2.

**Tabla 7. 2. Componentes secundarios de la roca presente en la zona de estudio.**

<b>COMPONENTES SECUNDARIOS</b>	<b>PROPORCION APROXIMADA (%)</b>
Sericita, minerales arcillosos	05 – 25
Hematita, limonita	05 – 25
Biotita, clorita	05 – 25

Para determinar la cantidad de sílice presente en la roca de la zona de estudio, en el laboratorio Microanálisis de Occidente, S. C., realizó un análisis de sílice libre a una muestra de roca triturada proveniente de la trituración terciaria de la PPAC, mediante el cual se identificó en la muestra una concentración de 3,04 miligramos, que corresponden a un 0,304% de Sílice libre (SiO<sub>2</sub>), concentración que es menor al 1% estipulado en el procedimiento 21 de la Norma Oficial Mexicana: NOM-10-STPS-1999, donde se señalan como partículas no especificadas o partículas totales. La cantidad de sílice libre determinada en la muestra, aparentemente es muy pequeña debido a que el olivino se encuentra en una proporción menor al 5%, así mismo, tanto la biotita, clorita y sericita son componentes secundarios, que en la roca se encuentran en proporciones que van del 5 al 25%. Como se representó en la tabla 7.3. la velocidad final de sedimentación de las partículas decrecerá conforme disminuya el tamaño de las partículas, tomando esto en consideración se determinó en base a la ley de Stokes que las partículas con un tamaño de 10 y 5 micras tendrán una velocidad final de sedimentación de 0.006 y 0.003 metros por hora, respectivamente, en una atmósfera estable.

**Tabla 7. 3. Velocidad final de sedimentación de las partículas calculada en base a la ley de Stokes.**

<b>TAMAÑO DE PARTÍCULA (micras)</b>	<b>VELOCIDAD FINAL DE SEDIMENTACIÓN (metros/hora)</b>
12,700.00	7.98
6,350.00	3.99
2,540.00	1.60
1,270.00	0.80
508.00	0.32
254.00	0.16
127.00	0.08
101.60	0.06
76.20	0.05
50.80	0.03
25.40	0.02

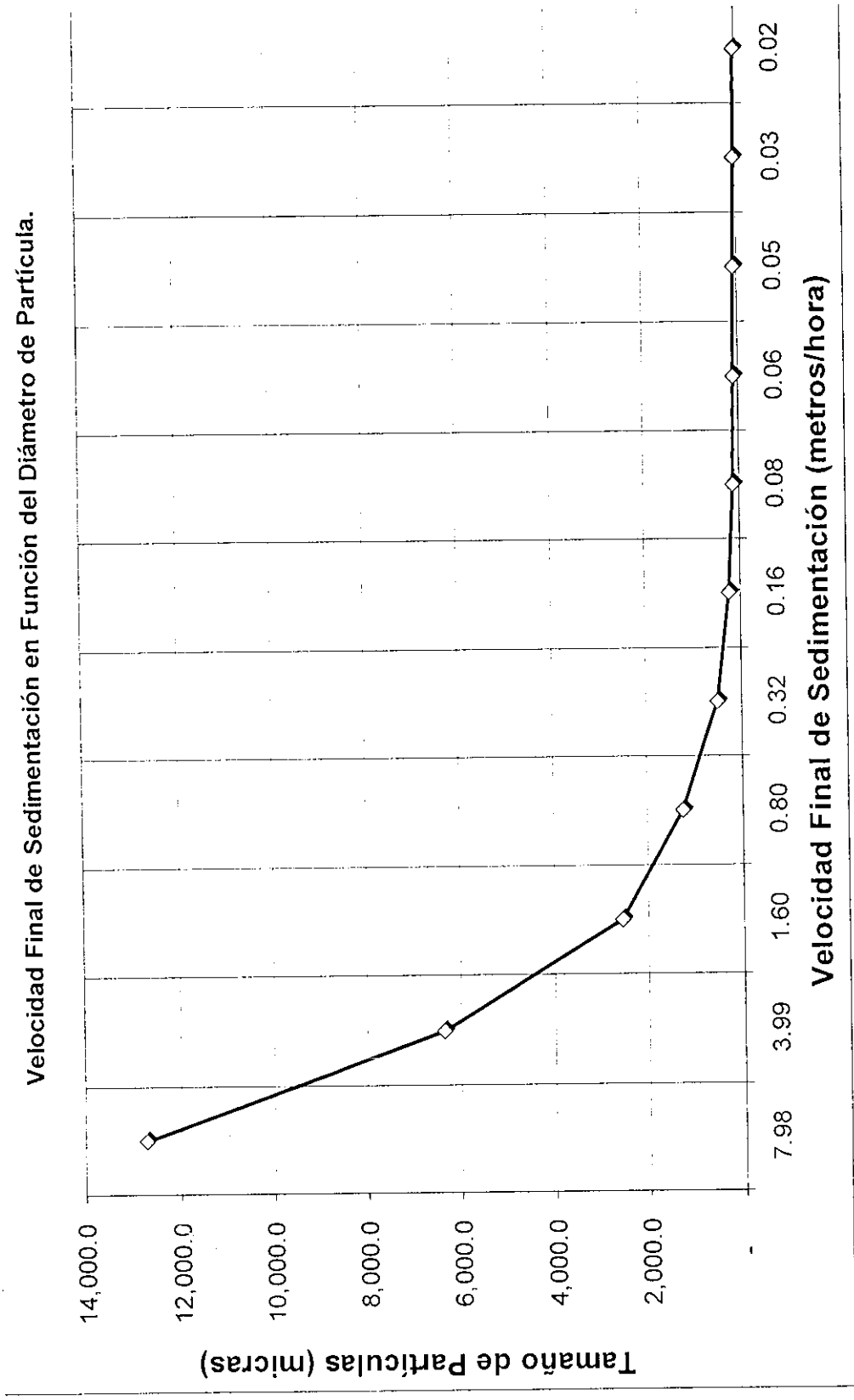


Figura 7. 1. Velocidad final de sedimentación las partículas en base a la ley de Stokes.

En la figura 7.1, se muestra la velocidad de sedimentación de las partículas en base a la ley de Stokes, se identifica que los componentes de la roca que oscilan entre 606 micras (anfibiotes) a 2 micras (apatito), tendrán una velocidad final de sedimentación en una atmósfera estable, que oscilará entre 0.36 y 0.0012 metros por hora respectivamente, estimándose que el olivino debido a que su tamaño de partículas varía entre 50 a 592 micras tendrá una velocidad final de sedimentación que oscile entre 0.0295 a 0.35 metros por hora en una atmósfera estable, por lo que dicha velocidad variará dependiendo de las condiciones climáticas (viento y humedad principalmente).

### **7.1.2. Identificación y caracterización de los puntos de emisión de polvos.**

Todas las operaciones de tratamiento mineral son fuentes potenciales de emisión de polvos. Se pudieron distinguir dos fuentes:

1. Fugas de procesos, en donde se llevan a cabo las operaciones de perforación en seco de la roca para introducir explosivos, voladuras o explosiones, trituración, tamizado, molienda, carga y transporte de materiales.
2. Fugas abiertas, entre ellas se encuentran las operaciones y vías de carga, remolque o traslado de materiales, áreas de almacenamiento y pilas de materiales en las plantas.

De estas actividades, la que mayor emisión de polvos genera es el proceso de trituración de la roca, tanto la primaria, secundaria y terciaria, siendo la trituración terciaria la principal fuente de emisión, tal como se muestra en la Figura 7.2.

En el área en donde encuentra la maquinaria y equipo de trituración primaria, secundaria y terciaria, se observaron las mayores emisiones de polvo en la atmósfera, por lo que se determinó el perímetro de esta sección territorial como área crítica de emisión de polvo, siendo en el área de trituración terciaria, representada en la figura 7.3., donde se observó una mayor emisión de polvos a la atmósfera, debido a que en ella se produce material geológico de menor granulometría, casi del tamaño de la arena.

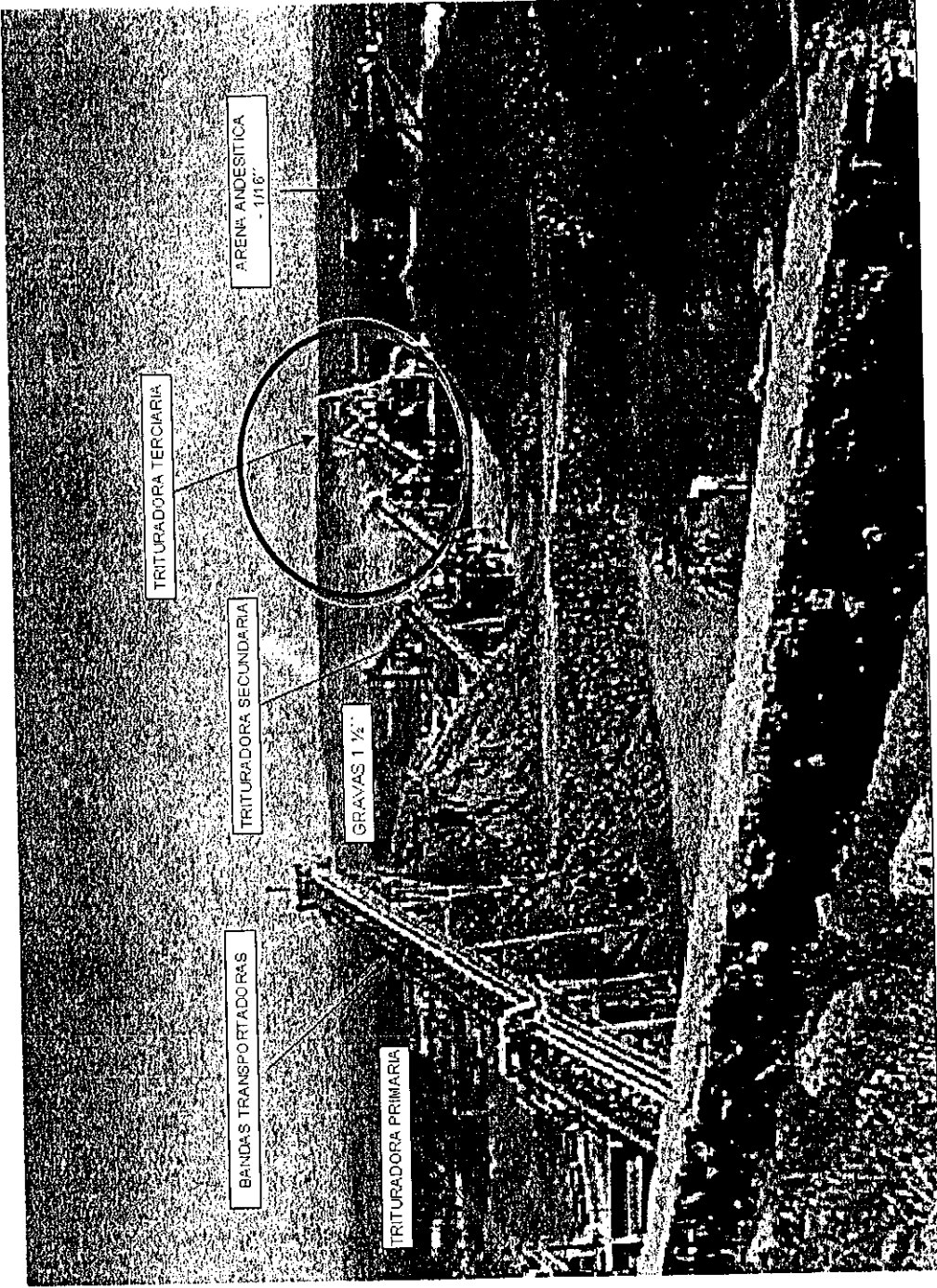


Figura 7. 2. Identificación de fuentes de emisión de polvos en la PPAC..



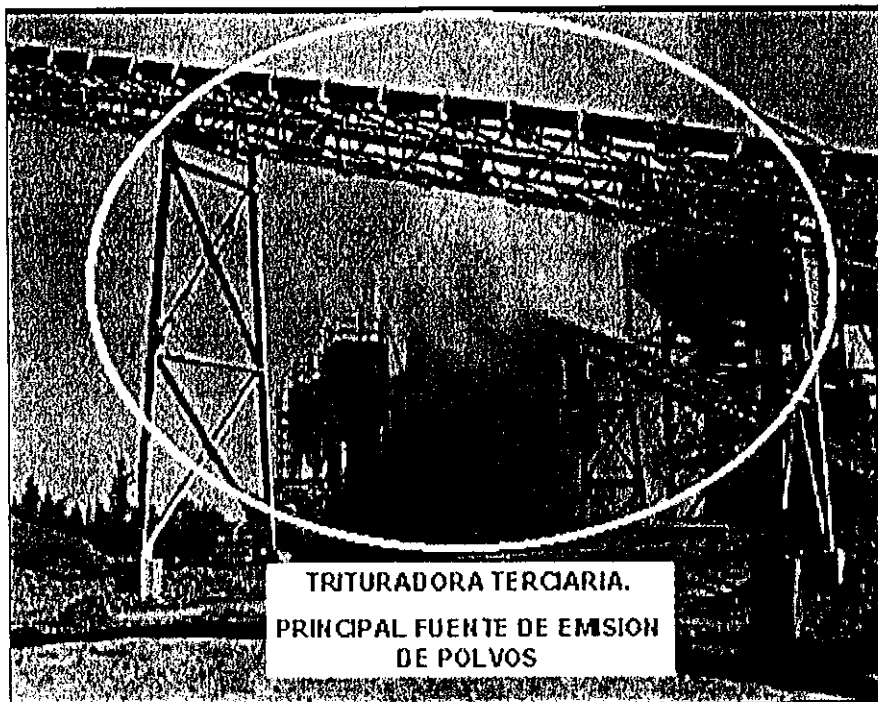


Figura 7. 3. Identificación de la principal fuente de emisión de polvos en la PPAC.

#### 7.1.3. Determinación de la concentración de polvos.

Para determinar si la concentración de polvos en el aire podría representar una amenaza para los trabajadores de la PPAC, se realizaron muestreos de tipo ambiental en el perímetro de la principal fuente de emisión de polvos, a la que se denominó zona crítica. También se realizaron muestreos a nivel de las vías respiratorias superiores de los trabajadores, llamados muestreo de tipo personal.

**Muestreo Ambiental.** A través del muestreo realizado para determinar la concentración en el aire ambiente de partículas suspendidas totales (PST) en la zona crítica, se identificó que en los ocho puntos cardinales del perímetro del área crítica, ubicada en la zona de trituración terciaria, las concentraciones rebasan por mucho los 260 microgramos por metro cúbico, que es el límite máximo requerido en la Norma Oficial Mexicana: NOM-024-SSA1-1993, como se muestra en la figura 7.4.

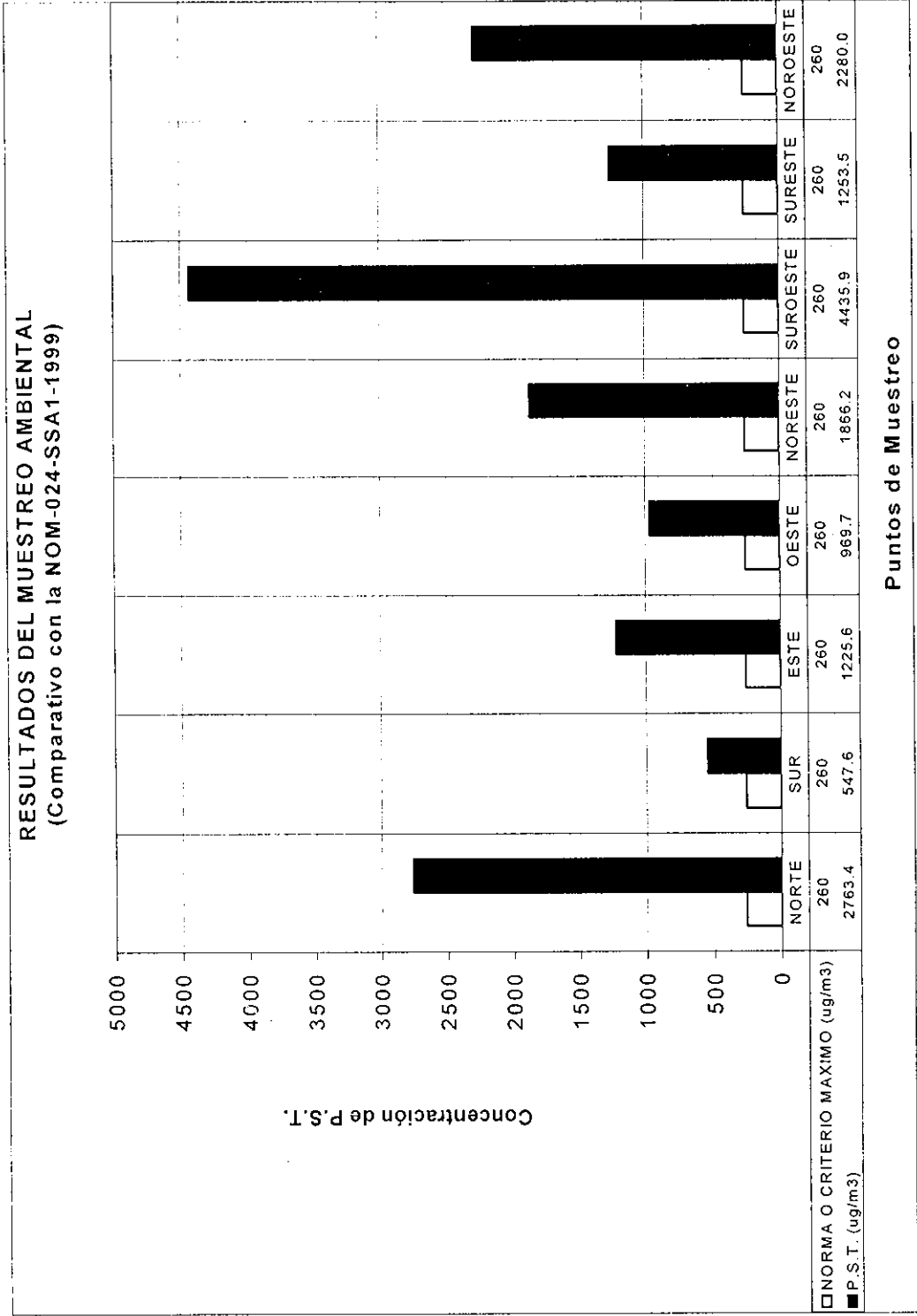
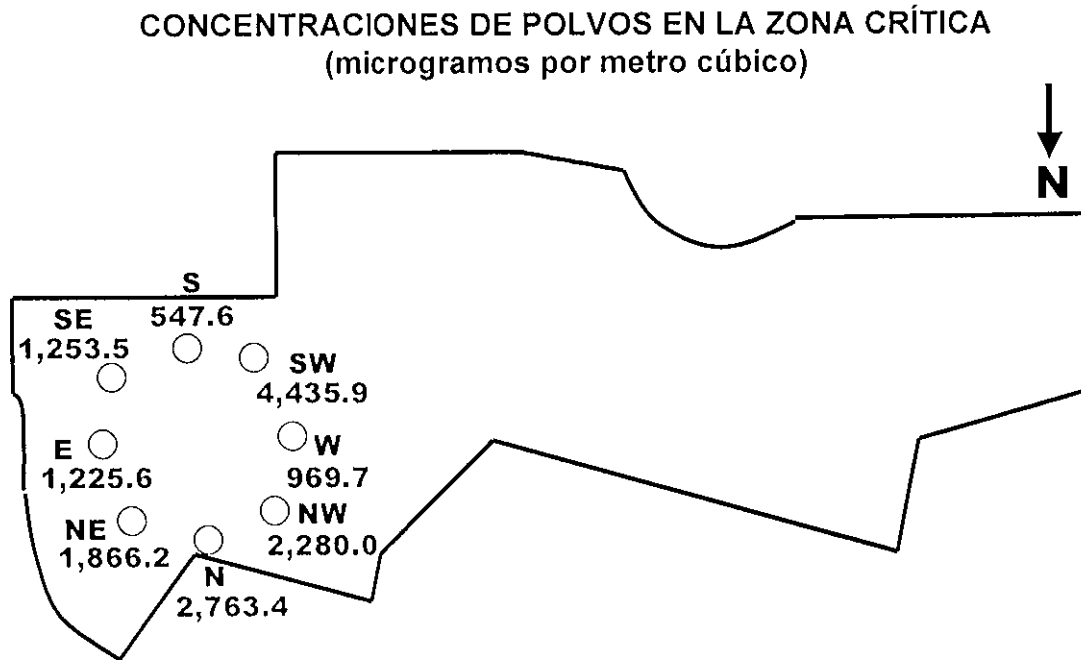


Figura 7. 4. Resultados del muestreo ambiental.

Las mayores concentraciones de PST se observaron en el Suroeste de la zona crítica, donde se identificaron concentraciones de hasta 4,435.46 microgramos por metro cúbico. Concentraciones mucho menores, del orden de los 547.0 microgramos por metro cúbico, se observaron hacia el Sur de la zona de estudio. Sin embargo, también rebasan los 260 microgramos por metro cúbico, que es el límite máximo permisible de emisión de polvos requerido en la Norma Oficial Mexicana: NOM-024-SSA1-1993. Como se puede apreciar en la figura 7.5., la zona crítica de emisión de polvos se ubicó alrededor de la trituradora terciaria.



Límite Máximo Permisible NOM-024-SSA1-1999: 260 microgramos por metro cúbico.

**Figura 7. 5. Identificación de concentraciones de polvos en los puntos de muestreo en el área crítica de la zona de estudio.**

**Muestreo Personal.** En el muestreo personal realizado a ocho de los trabajadores que laboran en la zona crítica de la PPAC (áreas de: trituración primaria, trituración secundaria, limpieza, oficinas, trascavo, personal, vigilancia, y acceso a instalaciones), se identificó que los trabajadores localizados en las áreas de limpieza del equipo de trituración, conformado por las trituradoras, bandas transportadoras y cribas, y transporte de material resultante de la trituración terciaria por medio de trascavo presentaron niveles de 10.09 y 12.84 microgramos por metro cúbico respectivamente, concentraciones que rebasan el límite máximo permisible de exposición a polvos totales, establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999 (10 microgramos por metro cúbico), mismo que se representó en la figura 7.6.

**RESULTADOS DEL MUESTREO PERSONAL  
(COMPARATIVO CON LA NOM-010-STPS-1999)**

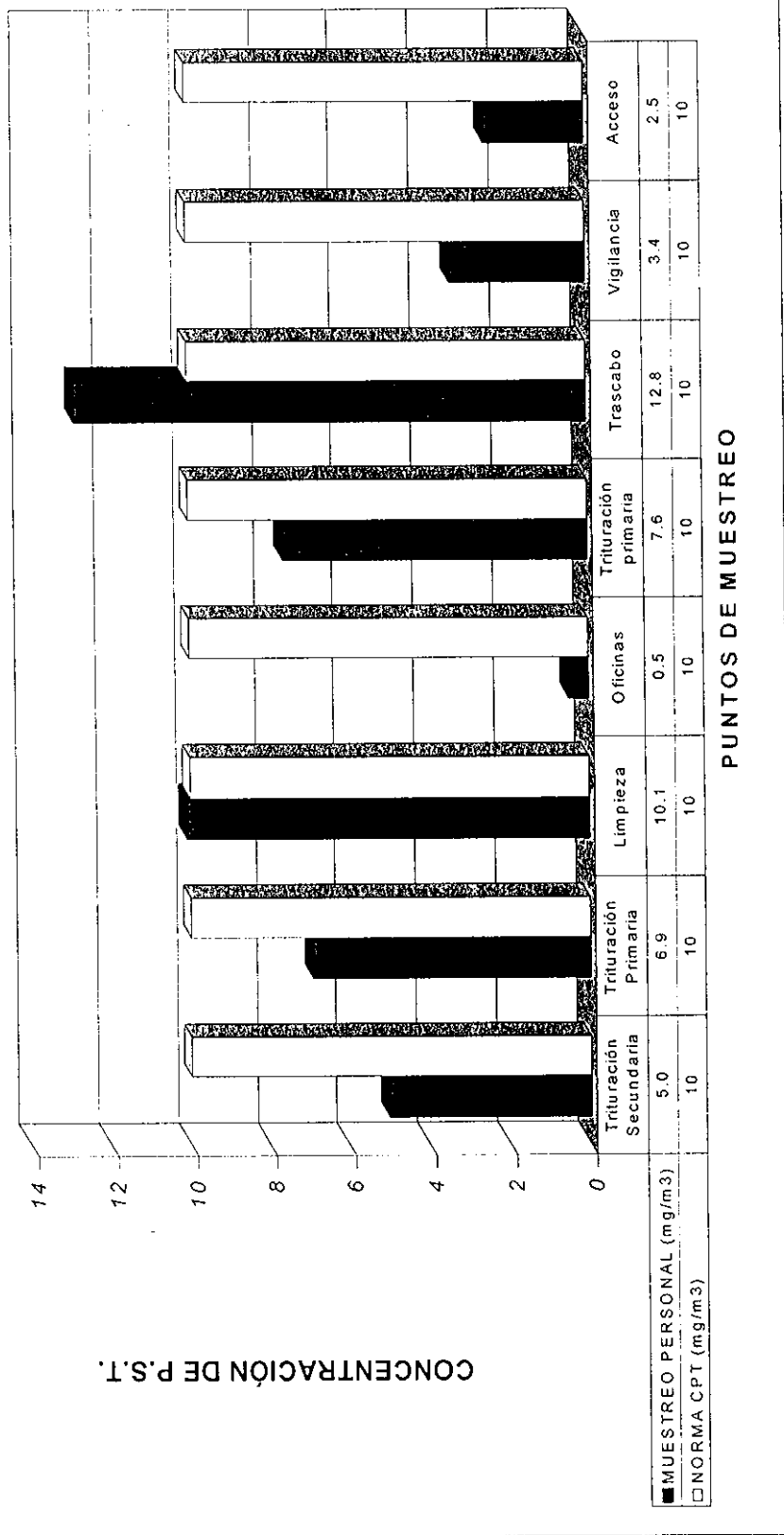


Figura 7. 6. Resultados del muestreo personal.

#### 7.1.4. Determinación de síntomas relacionados con la exposición a polvos en trabajadores de la PPAC.

Los trabajadores de la PPAC, reportaron 30 síntomas, mismos que se señalan en la tabla 7.4.

**Tabla 7. 4. Relación de los síntomas reportados por los trabajadores de la PPAC.**

SÍNTOMAS REPORTADOS	DISTRIBUCIÓN PROPORCIONAL (%)
Dolores de cabeza o mala memoria	14
Desmayos o parálisis en cuerpo	5
Infección, inflamación de ojos	32
Irritación de ojos	41
Afecciones frecuentes de garganta (más de una vez por año)	32
Afecciones en oído	5
Afecciones en nariz	14
Afecciones en laringe	23
Problemas cardiacos actuales	5
Problemas digestivos	42
Diarrea o estreñimiento frecuente	36
Gases o mal aliento	14
Colitis frecuente	5
Úlcera gástrica	14
Parásitos	5
Hemorroides	9
Vomito o evacuación de sangre	5
Problemas urinarios anteriores	9
Infecciones frecuentes	5
Urgencia para orinar	5
Ardor o sangrado al orinar	5
Problemas en articulaciones	5
Dolores musculares	14
Cansancio en piernas al caminar poco	18
Varices	9
Dolor de espalda frecuente	14
Sobrepeso	5
Diabetes	5
Ácido úrico elevado	9
Triglicéridos elevados	9

Las afecciones con el porcentaje de distribución obtenido de la encuesta aplicada a los trabajadores de la PPAC, se muestran en la tabla 7.5., sobresalen en este sentido los síntomas relacionados con problemas digestivos (41.9%), de los cuales el 36% consistieron en diarrea o estreñimiento frecuente, le siguen en orden descendente: irritación de ojos (45%), afecciones de garganta (32%) y afecciones en laringe (23%).

**Tabla 7. 5. Síntomas con mayor porcentaje de distribución reportados por los trabajadores de la PPAC.**

Principales Síntomas Reportados	Distribución (%)
Problemas digestivos	42
Irritación de ojos	41
Infección, inflamación de ojos	32
Afecciones de garganta	32
Afecciones en laringe	23

Al realizar el análisis de varianza entre cada uno de los síntomas reportados por los trabajadores, no se observó una relación significativa entre ellos. Sin embargo, se identificó que 10 de los 26 trabajadores que laboran en la PPAC, presentaron síntomas relacionados con la exposición a altas concentraciones de polvos, mismos que se presentan en la tabla 7.6.

**Tabla 7. 6. Trabajadores que presentan síntomas relacionados con la exposición a polvos.**

TRABAJADOR	EDAD	PUESTO	ANTIGÜEDAD	OJOS	VIAS RESPIRATORIAS SUPERIORES			APARATO DIGESTIVO	SISTEMA AUDITIVO
					Laringe	Nariz	Garganta		
1	29	Operador	3 años	Irritación	Laringe	X	Garganta	Problemas digestivos	X
2	37	Ayudante general	1 año	Irritación	X	Nariz	Garganta	X	Oído
3	19	Ayudante general	3 meses	Irritación	Laringe	X	Garganta	Problemas digestivos	X
6	63	Operador	26 años	Irritación	Laringe	Nariz	Garganta	Problemas digestivos	Oído
7	26	Operador	1 mes	Irritación	Laringe	Nariz	Garganta	X	X
11	36	Mecánico	6 años	Irritación	X	Nariz	Garganta	X	X
12	45	Ayudante general	9 meses	Irritación	X	Nariz	Garganta	X	X
14	53	Operador	10 años	Irritación	Laringe	Nariz	Garganta	Problemas digestivos	Oído
16	19	Ayudante general	3 meses	Irritación	X	X	Garganta	Problemas digestivos	X
22	20	Ayudante operador	1 año	Irritación	X	X	X	Problemas digestivos	X
<b># de casos</b>				10	5	6	9	6	3
<b>% de casos con respecto a la población total</b>				38	19	23	35	23	12

En la figura 7.7. se identifican los síntomas que reportaron los trabajadores conforme al puesto que ocupan en la PPAC. Se observa que los trabajadores que laboran como ayudante general son quienes presentan más síntomas relacionados con la exposición a polvos.



**Figura 7.7. Síntomas reportados por los trabajadores por puesto de trabajo.**

En los resultados del análisis de varianza se identificaron diferencias significativas cuando se comparó personas expuestas con las personas que presentaron síntomas relacionados con la exposición a polvos, tal como se puede observar en la figura 7.8.

SÍNTOMAS	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Infección o Inflamación de ojos	21.83	1	21.83	46.06	349.00	0.13	165.39	0.00
Irritación de ojos	5.93	1	5.93	61.96	349.00	0.18	33.38	0.00
Zumbido o dolor de oídos, vértigo	1.04	1	1.04	12.41	349.00	0.04	29.12	0.00
Nariz (sinusitis, rinitis alérgica)	2.13	1	2.13	30.97	349.00	0.09	23.96	0.00
Garganta (inflamación, comezón o infección frecuente)	0.70	1	0.70	55.34	349.00	0.16	4.40	0.04
Laringe (ronquera)	0.75	1	0.75	30.76	349.00	0.09	8.50	0.00
Bronquios (tos de más de 15 días)	0.00	1	0.00	0.00	349.00	0.00		
Pulmones (falta de aire al hacer ejercicio leve)	0.00	1	0.00	0.00	349.00	0.00		
Asma	0.00	1	0.00	0.00	349.00	0.00		
Problemas digestivos	1.40	1	1.40	43.60	349.00	0.12	11.20	0.00
Diarrea	0.72	1	0.72	51.61	349.00	0.15	4.85	0.03
Gases	0.06	1	0.06	39.92	349.00	0.11	0.49	0.48
Colitis	0.02	1	0.02	1.97	349.00	0.01	3.75	0.05
Úlcera	0.10	1	0.10	23.12	349.00	0.07	1.44	0.23
Parásitos	0.01	1	0.01	2.96	349.00	0.01	1.63	0.20
Hemorroides	0.00	1	0.00	0.00	349.00	0.00		
Vómitos	0.00	1	0.00	1.00	349.00	0.00	0.54	0.46

**Figura 7. 8. Porcentaje de distribución de los síntomas reportados por los trabajadores de la PPAC, por puesto de trabajo.**

#### **7.1.5. Evaluación de la Amenaza por Exposición a Polvos.**

Con lo anterior, se determinó que las consecuencias a la salud y a la vida podrían ser serias, dado que la contaminación producida será simple y los efectos diseminados; las consecuencias al ambiente limitadas, debido a que serán de >5% al 20% del costo del inmueble; los efectos se suponen ocultos hasta que están completamente manifiestos, por lo que se clasificaron como efectos sin advertencia y la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza se clasificó como muy probable, debido a que ocurre más de una vez por año obtuvieron los valores que se presentan en la tabla 7.7.

**Tabla 7.7. Resultados de la evaluación de la amenaza por emisión de polvos.**

Amenaza	Consecuencias a la Salud y a la Vida	Consecuencias al Ambiente	Consecuencias a la Propiedad	Velocidad de Manifestación de la Amenaza	Probabilidad de Ocurrencia
Emisión	4	4	2	3	5



de polvos	Muy serias	Serias	Limitado	Efectos pequeños con alguna distribución	Muy probable
	varios lesionados serios (>20 %)	Contaminación simple efectos diseminados	>5 – 20% del costo del inmueble.	Efectos ocultos hasta que están completamente manifiestos.	Más de una vez por año.

Al comparar estos resultados con la tabla 6.2. dio como resultado un nivel de amenaza ligeramente alto (4), debido a que se identificó una contaminación simple con efectos diseminados por lo que sus consecuencias al ambiente se consideran serias.

## 7.2. Análisis de la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC.

Para el análisis de la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC, primeramente se identificaron las características de la población en estudio, lo cual se presenta a continuación:

### 7.2.1. Caracterización de la población en estudio.

Dentro de la planta, laboran de manera permanente 26 trabajadores de los cuales una es mujer y los 25 restantes son hombres, por lo que la mayoría (95.5 %) del personal de la Planta Productora de Agregados para el Concreto es masculino. Las labores se realizan dentro del horario: 7:00 a 17:00 hrs. de lunes a viernes, y sábados de 7:00 a 14:00 horas. su edad, puesto y antigüedad se muestran en la tabla 7.8.

Tabla 7.8. Características de la población de la zona de estudio.

NÚMERO DE TRABAJADOR	SEXO	EDAD (Años)	PUESTO	ANTIGÜEDAD
1	Masculino	29	Operador	3 años
2	Masculino	37	Ayudante General	1 año
3	Masculino	19	Ayudante General	3 meses
4	Masculino	37	Operador	13 años
5	Masculino	27	Operador	8 años
6	Masculino	63	Operador	26 años
7	Masculino	26	Operador	1 mes
8	Masculino	46	Abastecimiento	9 meses
9	Masculino	28	Ayudante General	1 año 3 meses
10	Masculino	41	Despachador	12 años
11	Masculino	36	Mecánico	6 años
12	Masculino	45	Ayudante General	9 meses
13	Masculino	29	Jefe de Explotación	7 meses
14	Masculino	53	Limpieza de	10 años

			maquinaria	
15	Masculino	43	Operador	1 año
16	Masculino	19	Ayudante General	3 meses
17	Masculino	28	Operador	4 años
18	Masculino	28	Yuclero	6 años
19	Masculino	25	Jefe de control ambiental	1.5 meses
20	Femenino	31	Facturista	7 meses
21	Masculino	27	Ayudante General	3 meses
22	Masculino	20	Ayudante operador	1 año

Con lo anterior, se obtuvieron los siguientes grupos:

**Por edad.** Como se puede observar en la tabla 7.9., la mayoría de los trabajadores de la PPAC (54%) tiene más de 18 a 30 años de edad, siguiendo en este orden dos grupos de entre 31 a 40 años y de 41 a 50 años, mismos que ocupan el 18.2% cada uno. Solo dos personas, quienes corresponden a 9.1% de la población tienen más de 50 años.

Tabla 7.9. Grupos de edad en la PPAC.

GRUPOS DE EDAD	NÚMERO DE TRABAJADORES	PORCENTAJE
>18-30	12	54.5
31-40	4	18.2
41-50	4	18.2
>50	2	9.1
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100.0</b>

**Por antigüedad.** Como se puede observar en la tabla 7.10., se identificó que el 72.8% de los trabajadores de la PPAC tienen menos de uno y hasta cinco años de antigüedad, correspondiendo un 36% del total de los trabajadores a quienes tienen menos de un año de antigüedad, al igual que a quienes se encuentran dentro del grupo que tiene entre uno y cinco años laborando en la PPAC, le siguen a este grupo el que tiene entre seis a diez años de antigüedad y de once a quince posteriormente. No se encontraron trabajadores que presentaran una edad entre diez y seis a los veinte años de antigüedad y solo un trabajador tiene más de 20 años laborando en esta empresa.

Tabla 7.10. Grupos de trabajadores en la PPAC, conforme a su antigüedad.

ANTIGÜEDAD	NÚMERO DE TRABAJADORES	PORCENTAJE
menos 1 año	8	36.4
1 – 5 años	8	36.4

6 – 10 años	4	18.2
11 - 15 años	1	4.5
16 - 20 años	0	0.0
> 20 años	1	4.5
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100.0</b>

Al analizar el ingreso económico de los trabajadores y la zona en donde habitan, se identificó que un 75% de los trabajadores de la PPAC, se ubica dentro de un estrato socioeconómico Medio Bajo, quedando el resto de la población (25%) que se concentra en el área de estudio clasificada como de nivel socioeconómico medio.

**Acceso a servicios de salud.** Sólo el 50% de la población que vive en las colonias y fraccionamientos en el área de influencia de 5 kilómetros de radio, tiene acceso a los servicios de seguridad social, la mayor parte los recibe en el Instituto Mexicano del Seguro Social.

La rotación y la eventualidad de la contratación de personal en las empresas de la región, incluyendo a los trabajadores de la PPAC, ha ocasionado variaciones en el registro de personas en el IMSS; además, debido a las deficiencias de atención que reportan continuamente los derechohabientes de esta Institución, la población opta en muchas ocasiones por asistir a consulta con médicos particulares u otras instituciones de la Secretaría de Salud en Jalisco.

Otros derechohabientes reciben los servicios de seguridad social del ISSSTE, PEMEX o la Secretaría de la Defensa Nacional; en tanto que la población abierta recibe los servicios de los médicos y hospitales particulares o de las instalaciones que la Secretaría de Salud Jalisco en esta zona. Los trabajadores y la población aledaña a la zona de estudio, cuentan con servicios de primer (prestan servicios básicos) y segundo nivel (aquellos donde se realizan actividades de especialidades básicas y cirugía general). Entre las instituciones de salud con las que se cuenta la población que habita en el Municipio de Tonalá destacan las siguientes:

### **7.3. Evaluación de la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC.**

#### **7.3.1. Análisis de la demanda.**

La demanda se determinó en base al porcentaje de personas con mayor propensión (susceptibilidad) a ser afectados por la exposición a polvos, tomando como referencia las características de la población, el uso del equipo de protección y el acceso al servicio médico, con lo que se obtuvieron las siguientes variables:

1. **Estructura según la edad.** La mayoría de la población que se localiza dentro del área de estudio (54%), tiene entre 18 y 30 años de edad, solamente el 9.1% de la población es mayor de 50 años, por lo que se determinó que la puntuación más representativa será 1.
2. **Estrato socioeconómico.** La mayoría (75%) de los trabajadores de la PPAC, se ubica dentro de un estrato socioeconómico Medio Bajo, por lo que se consideró un puntaje de 3.
3. **Antigüedad en el trabajo.** Como se observó anteriormente, se encontraron más problemas de salud en las personas con mayor edad y antigüedad, identificándose que las emisiones de polvo, generan mayores afectaciones a la salud principalmente después de un año de exposición, por lo que se consideró que a mayor antigüedad mayor probabilidad de gravedad en la afectación por las emisiones de polvo. En base a lo anterior, en el presente estudio se observó que dos categorías de trabajadores (con menos de un año de antigüedad y con uno a cinco años de antigüedad) presentaron un mismo porcentaje (36.4%), por lo que consideró que la mayoría de las personas que se concentran en el área de estudio (72.8%) tienen una antigüedad que va de menos de un año a cinco años, por lo que se identificó que le corresponde una puntuación de 1.
4. **Porcentaje de trabajadores que presentan patologías relacionadas con la exposición a polvos.** Se observó que 10 de los 26 trabajadores de la PPAC, es decir, el 45% de la población que labora en la PPAC, presentaron patologías relacionadas con la exposición a polvos, con lo que se determinó un puntaje de 3.
5. **Uso de equipo de seguridad.** Los trabajadores de la PPAC eventualmente utilizan el equipo de protección personal que se les proporciona, como ejemplo se tiene el caso de un trabajador que fue visto utilizando un paliacate amarrado al cuello para tapar la boca y la nariz, por lo que se consideró un puntaje de 4.
6. **Uso de servicio médico.** El personal que labora en la PPAC, no cuentan con servicio médico periódico dentro de las instalaciones de su centro de trabajo y en la mayoría de las ocasiones solo acuden a las instituciones de salud cuando tienen verdadera necesidad debida a alguna enfermedad, por lo que se asignó un puntaje de 4.

De esta manera, en la tabla 7.11. se muestran los puntajes obtenidos de la evaluación de la Demanda:

**Tabla 7. 11. Evaluación de la Demanda.**

Parámetros de Demanda	Resultado	Puntaje
Grupos Etéreos (trabajadores mayores de 65	0 - > 20%	1

años)		
Estrato Socioeconómico	Media Baja	3
Antigüedad en el Trabajo (años de antigüedad)	0-5	1
% de Trabajadores con Patologías	41 – 60 %	3
Uso de Equipo de Seguridad	Eventualmente	4
Uso de Servicio médico	Eventualmente	4

### 7.3.2. Análisis de la Oferta.

Al realizar un análisis de la Oferta de la infraestructura y recursos con los que cuenta la población que se localiza en la zona de estudio, para prevenir o mitigar los riesgos que puedan afectar su salud, principalmente por exposición a polvos, se identificó lo siguiente:

1. **Dotación del equipo especializado de seguridad.** La PPAC, entrega equipo de seguridad personal a los trabajadores una vez al año, por lo que se designó un puntaje de 2.
2. **Capacitación.** En la PPAC, se capacita eventualmente a los trabajadores, acerca del uso del equipo de protección personal para evitar la afectación por las emisiones de polvo procedentes del proceso de trituración de roca, por lo que se determinó un puntaje de 2.
3. **Infraestructura y equipo para la mitigación de polvos en la PPAC.** Se determinó que las condiciones de la infraestructura y equipo de seguridad del equipo de trabajo son malas, debido a que no se reúnen los requisitos indispensables para el control de las emisiones de polvo un puntaje de 2.
4. **Mitigación de emisiones de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca.** Se observó que entre las principales fuentes de emisión de polvos ajenas al proceso de trituración de roca, se encuentran las provenientes de bancos de material aledaños a la zona de estudio, así como de la circulación de vehículos a través de caminos en mal estado, tanto internos como externos, por lo que se tomó en consideración las labores que se realizan para controlar dichas emisiones: mantenimiento de vialidades, riego de caminos, etc.; con lo que se asignó un valor de 2.
5. **Médicos especializados en la PPAC.** Los trabajadores que se localizan dentro de la PPAC, no cuentan con servicio médico dentro de las instalaciones, por su cercanía a la zona de estudio, acuden a la clínica No. 93 del IMSS, ubicada en la avenida Tonaltecas #131, misma que cuenta con los servicios de una doctora en epidemiología, 6 camas para adultos, dos camas pediátricas, enfermería, etc; así mismo, concurren a la Cruz Verde, que se ubica en la calle Hidalgo #425, en donde cuentan con dos médicos en turno, y por la mañana hasta cuatro, esto de domingo a viernes, el sábado solo hay uno. En la Clínica número 93, se cuenta con dos médicos

en urgencias de domingo a viernes, el sábado se cuenta con uno, y por la mañana se cuenta con 20 médicos en consulta. Por lo que se asignó el puntaje 2.

6. **Sistema de Vigilancia Epidemiológica.** La implementación de estos sistemas son un apoyo importante, dado que nos permite establecer un diagnóstico de los factores que pueden propiciar la aparición de ciertas enfermedades, tanto en condiciones normales como en situaciones de desastre. En la zona de estudio, no se cuenta con un sistema de vigilancia epidemiológica, por lo que el puntaje asignado fue 1. En base al análisis anterior, se conformó la tabla 7.12.

**Tabla 7. 12. Resultados del análisis de los parámetros de Oferta.**

Parámetros de Oferta	Resultado	Puntaje
Dotación de equipo de seguridad	Frecuentemente	2
Capacitación del personal	Frecuentemente	2
Condiciones de la infraestructura y equipo del centro de trabajo	Buenas	2
Mitigación de emisiones de polvos provenientes de fuentes ajenas al proceso de trituración de roca.	Eventualmente	2
Médico especializado	Eventualmente	2
Sistema de vigilancia epidemiológica	Nunca	1

### 7.3.3. Niveles de valoración de la vulnerabilidad.

Los resultados obtenidos en base a los parámetros que se consideraron importantes para calcular la Demanda de los trabajadores de la PPAC, se muestran en la tabla 7.13.

**Tabla 7. 13. Parámetros de demanda observados en los trabajadores de la PPAC.**

Parámetros	Demanda	Oferta
1	1	2
2	3	2
3	1	2
4	3	2
5	4	2
6	4	1
total	16	11

Posterior a la determinación del promedio de los resultados y a su proyección en la tabla 6.15, se identificó que la vulnerabilidad de los trabajadores de la

PPAC se encuentra dentro del rango >10–15, por lo que el nivel de vulnerabilidad es 3 y corresponde a la categoría Medio.

#### 7.4. Evaluación del riesgo a la salud por la emisión del polvo generado por el proceso de trituración de roca.

Como se mencionó anteriormente, se determinó que el nivel de amenaza derivada de la emisión de polvos producto de la trituración de roca es ligeramente alto y el de la vulnerabilidad es medio, por lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Amenaza		Vulnerabilidad	
Ligeramente alto	4	Media	3

En base a estos resultados, se aplicó la fórmula: **Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad**, es decir:  $R = 4 \times 3 = 12$ , ubicando este resultado en la tabla 6.6. se determinó que el nivel de riesgo es 3, por lo que corresponde a la categoría Medio.

Categoría	Puntaje	Nivel de Riesgo
Medio	>10-15	3

Para complementar los resultados obtenidos en la evaluación de los riesgos a la salud derivados de la emisión de polvos de la PPAC, sobre la base de la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1993 y tras haber categorizado el nivel de exposición potencial, se identificó que el nivel de exposición potencial para los trabajadores es tres (3), dado que los trabajadores de la PPAC se encuentran en una zona con exposición frecuente y a altas concentraciones de polvos, por lo que se identificó en el nivel cuatro (4) en específico a las personas que laboran en el área de limpieza de la maquinaria y equipo de trituración, así como a los trabajadores que manejan el trascavo para surtir los camiones del producto de granulometría mas fina (arena derivada de la trituración terciaria de la roca).

En la figura 7.9., se representa los resultados que se obtuvieron al categorizar los efectos de la sustancia química a la salud, se identifica que los efectos de la sustancia química a la salud de la población que labora en la zona de estudio se encuentran dentro de la categoría 4 muy alta, determinada como una zona de prioridad, de acuerdo con los señalamientos de la NOM-010-STPS-1994.

De esta manera, la zona de estudio se identificó un nivel de afectación a la salud moderado, mismo que se establece cuando no se detectan efectos de manera inmediata, pero hay posibilidades de que se presenten efectos crónicos o a largo plazo debido a su acumulación o aumento de intensidad.

Efectos a la salud.

4					MUY ALTA
3				ALTA	
2			MODERADA		
1		BAJA			
0	INOCUA				
	0	1	2	3	4

Figura 7. 9. Clasificación cualitativa del riesgo.



## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.

El riesgo a la salud por emisión de polvos de la Planta Productora de Agregados para el Concreto, se clasificó como Antrópico-Sanitario, debido a que dicho riesgo se deriva de una actividad humana que produce contaminación ambiental. Para su evaluación se analizaron y evaluaron parámetros de la amenaza y de la vulnerabilidad:

### 9.1. Amenaza.

Se identificó que el material geológico presente en el área de estudio, y particularmente los polvos derivados de su trituración, están constituidos por partículas no especificadas de otra manera (NEOM), es decir por aquellas partículas para las que no existe evidencia de efectos tóxicos específicos, por lo que el presente estudio se enfocó a la determinación de concentraciones de Partículas Suspendidas Totales en el aire (PST).

La amenaza por emisión de polvos se deriva de varias las fuentes: perforación en seco, voladuras, acuñaduras, tronadura secundaria, carguío y transporte, traspaso de material, descarga de material, chancado y trituración de roca, en trituradoras primaria, secundaria y terciaria. De entre estas actividades, la trituración terciaria es la principal fuente de emisión de polvos, por lo que a esta área se le denominó zona crítica. En dicha zona las concentraciones de PST están muy por arriba del límite máximo permisible (260 microgramos por metro cúbico) requerido en la Norma Oficial Mexicana: NOM-024-SSA1-1993, detectándose concentraciones de hasta 4,435.46 microgramos por metro cúbico en el Sur Oeste de la zona crítica.

Las concentraciones de partículas suspendidas totales en la zona crítica (delimitada en el perímetro del área de trituración secundaria y terciaria), exceden en mucho el límite máximo permisible estipulado en la NOM-024-SSA1-1993, principalmente en el punto ubicado en el Suroeste, donde las concentraciones exceden hasta 17 veces lo decretado, debido a que en ese punto la conformación del terreno impide la salida de los vientos y propicia la acumulación de aire en ese sitio, a pesar de que los vientos dominantes van hacia el Este - Noroeste en casi todo el año.

Se identificó que a nivel personal (nivel de las vías respiratorias de los trabajadores), solo 2 de los trabajadores de la PPAC, presentaron concentraciones de PST por arriba del límite máximo permisible (10 micro gramos por metro cúbico) establecido en la NOM-010-STPS-1999. De estos trabajadores, uno realiza labores de limpieza de la maquinaria de trituración (presentando una concentración de 10.09 microgramos por metro cúbico) y el otro maneja el trascabo para coleccionar el material y depositarlo en los camiones para venta del material geológico (presentó una concentración de 12.84 microgramos por metro cúbico), razón por la cual, no se detectó relación directa de estos resultados con las altas concentraciones de PST obtenidas en el muestreo ambiental e hizo suponer que dichas concentraciones se

deben a la mayor cercanía y contacto directo de los trabajadores con la fuente principal de emisión de polvos.

Se determinó un nivel de amenaza por emisión de polvos ligeramente alto, con un nivel de 4, debido a que las consecuencias a la salud y a la vida podrían ser serias, dado que la contaminación producida será simple y los efectos diseminados; las consecuencias al ambiente limitadas, debido a que serán de >5% al 20% del costo del inmueble; los efectos se suponen ocultos hasta que están completamente manifiestos, por lo que se clasificaron como efectos sin advertencia y la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza se clasificó como muy probable, debido a que ocurre más de una vez por año.

## **9.2. Vulnerabilidad.**

Las personas que trabajan en la limpieza de la maquinaria de trituración y en la operación del trascabo, presentaron un mayor número de patologías al compararlas, ya que también se identificó que el primero tiene 53 años de edad y una antigüedad de 10 años, el segundo tiene 63 años de edad y 26 años de antigüedad, lo que indica un mayor tiempo de exposición.

Las patologías con un porcentaje de distribución más alto (irritación de ojos, afecciones a sistema respiratorio superior y padecimientos en sistema digestivo), presentadas por los trabajadores de la PPAC, están relacionadas con la presencia de polvos en el ambiente (principalmente partículas mayores de 10 micras). Las patologías identificadas se presentaron en trabajadores de menos de 30 años, con algunos meses de antigüedad, así como en trabajadores con más de 50 años y más de 15 años de antigüedad, estos últimos presentaron un cuadro clínico más complejo. Sin embargo, cabe señalar que estos síntomas se observaron en personal que tiene menos de un año laborando, lo cual es representativo del mal uso del equipo de protección.

Eventualmente en la PPAC, se proporciona y capacita al personal acerca del equipo especializado para su protección personal, por lo que la mayoría de los trabajadores eventualmente utilizan dicho equipo correctamente; aunado a esto, no cuentan con servicio médico periódico dentro del centro de trabajo y eventualmente acuden a las instituciones de salud, lo que explica que el 45% de los trabajadores de la PPAC, presente patologías relacionadas con la exposición a polvos, con lo que se concluye que la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC ante la amenaza por emisión de polvos, se puede minimizar si se utiliza el equipo proporcionado para la protección de ojos y sistema respiratorio (máscarillas, tapabocas, lentes, etc.).

La presencia o ausencia de factores, tales como el puesto de trabajo, antigüedad en el trabajo, edad, uso de equipo de seguridad personal, influye en la disminución o incremento de la vulnerabilidad de los trabajadores expuestos a altas concentraciones de polvos.

Se determinó mediante la evaluación de la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC, que los valores obtenidos se ubica en el nivel dos de vulnerabilidad por lo que resultó ser baja.

### **9.3. Riesgo.**

Con lo anterior, se pudo determinar que la emisión de polvos, producto de la trituración de roca, constituye un riesgo para la salud de los trabajadores de una planta de agregados para concreto. El riesgo resultante de la evaluación fue ligeramente bajo, debido a que a pesar de que el valor de la amenaza fue ligeramente alto, el valor de la vulnerabilidad obtenido fue bajo.

Sin embargo, al analizar la exposición potencial para los trabajadores se determinó que el riesgo pasa de moderado para las personas que se encuentran en la zona crítica (con exposición frecuente a altas concentraciones de polvos), llegando al nivel de riesgo considerado alto para las personas que laboran en el área de limpieza de la maquinaria y equipo de trituración, así como los trabajadores que manejan el trascavo para surtir los camiones del producto de granulometría mas fina (arena derivada de la trituración terciaria de la roca).

El riesgo de efectos de la sustancia química a la salud de la población que labora en la zona de estudio se encuentra dentro de la categoría 4 muy alta, determinada como una zona de prioridad, de acuerdo con los señalamientos de la NOM-010-STPS-1994. Así mismo se determinó que el nivel de afectación moderado, debido a que las afectaciones derivadas de la exposición a polvos no detectan de manera inmediata, pero hay posibilidades de que se presenten efectos crónicos (a largo plazo) debido a su acumulación o aumento de intensidad.

Lo anterior, se empieza a observar en la zona crítica, en donde las concentraciones de partículas suspendidas totales en la zona crítica (delimitada en el perímetro del área de trituración secundaria y terciaria), exceden en mucho el límite máximo permisible estipulado en la NOM-024-SSA1-1993, principalmente en el punto ubicado en el Suroeste, en el cual las concentraciones exceden hasta 17 veces lo decretado, debido a que en ese punto la conformación del terreno impide la salida de los vientos y propicia la acumulación de aire en ese sitio, a pesar de que los vientos dominantes van hacia el Este - Noroeste en casi todo el año. Sin embargo, el muestreo en la zona crítica a nivel personal (nivel de las vías respiratorias de los trabajadores), indica que solo 2 de los trabajadores de la PPAC, presentaron concentraciones de partículas suspendidas totales por arriba del límite máximo permisible establecido en la NOM-010-STPS-1999, estos dos trabajadores realizan actividades de limpieza de la maquinaria de trituración y operación de trascavo (operador); el primero tiene 53 años de edad y una antigüedad de 10 años, el segundo tiene 63 años de edad y 26 años de antigüedad por su mayor cercanía y contacto directo con la fuente emisora.

Eventualmente en la PPAC, se proporciona y capacita al personal acerca del equipo especializado para su protección personal, por lo que la mayoría de los trabajadores eventualmente utilizan dicho equipo correctamente; aunado a esto, no cuentan con servicio médico periódico dentro del centro de trabajo y eventualmente acuden a las instituciones de salud, lo que explica que el 45% de los trabajadores de la PPAC, presente patologías relacionadas con la exposición a polvos, con lo que se concluye que la vulnerabilidad de los trabajadores de la PPAC ante la amenaza por emisión de polvos, se puede minimizar si se utiliza el equipo proporcionado para la protección de ojos y sistema respiratorio (máscarillas, tapabocas, lentes, etc.).

## CAPÍTULO 9. DISCUSIONES.

Se identificó que el material geológico presente en el área de estudio, y particularmente los polvos derivados de su trituración, están constituidos por partículas no especificadas de otra manera (NEOM), es decir por aquellas partículas para las que no existe evidencia de efectos tóxicos específicos. Estas partículas llamadas comúnmente "partículas molestas" no causan fibrosis o efectos sistémicos. Sin embargo, a pesar que no contienen fibras de asbesto o más de 1% de sílice cristalina, no se descartan afectaciones a la salud.

Se determinó mediante el análisis del material geológico procedente de la trituración terciaria, que el contenido de sílice en la muestra es menor al límite máximo permisible señalado en la Norma Oficial Mexicana: NOM-10-STPS-1999, por lo que los polvos en la zona de estudio se consideraron como partículas para las que no existe evidencia de efectos tóxicos específicos (NEOM).

Los muestreos de concentraciones de partículas suspendidas totales en el aire ambiente (espacios abiertos) y a nivel personal realizados en la zona crítica de emisión de polvos, localizada en el perímetro del área de trituración terciaria, en el Suroeste de la zona de estudio, mostraron que en esta sección territorial prevalecieron concentraciones de polvos que excedieron hasta 17 veces el límite máximo permisible estipulado en las Normas Oficiales Mexicanas. Se determinó mediante el muestreo personal, realizado a ocho trabajadores localizados en el área crítica, que en las áreas de limpieza del equipo de trituración y de transporte de material resultante de la trituración terciaria por medio de trascabo se presentaron concentraciones de polvo que rebasaron el límite máximo permisible de exposición, por lo que se consideraron como las de mayor riesgo.

Los resultados de las encuestas realizadas, indican que la edad de los 22 trabajadores de la PPAC fluctúa entre los 18 a los 50 años, con una antigüedad que va de tres meses a 20 años. Más del 40% de los trabajadores, reportaron afectación de ojos y 36% en oído nariz y garganta, así como sistema digestivo, no manifestaron síntomas de afectación en los pulmones. Sin embargo, no se descartó el riesgo de neumoconiosis, por lo que se practicó una prueba de función pulmonar por espirometría y PA de tórax al trabajador con mayor edad y antigüedad en la empresa, y que en la encuesta reportó un mayor número de patologías, resultando con función pulmonar y de tórax normal, lo que indicó que el principal riesgo para los trabajadores expuestos a altas concentraciones de polvo en la zona de estudio, es de daño a las vías respiratorias superiores, pero a pesar de lo anterior, no se descarta el riesgo de que los trabajadores en un futuro presenten síntomas de neumoconiosis, dado que las afecciones se llegan a manifestar más de 20 años después de la exposición.

Los polvos pueden causar irritación del sistema respiratorio superior, el cual está conformado por la nariz, laringe y garganta), síntomas que son similares a los que se presentan en casos de resfrío, alergias y otros problemas de respiración, como

son: nariz tupida y carraspeo en la garganta, estos síntomas fueron: irritación de ojos (45%), afecciones de garganta (32%) y afecciones en laringe (23%).

Ninguno de los trabajadores es obeso, debido a que el desempeño de las labores requieren de esfuerzo físico y la mayoría manifiesta hábitos alimenticios saludables. Sin embargo, el 41.9% de los trabajadores reportaron problemas digestivos, de estos el 36.4% reportaron diarrea o estreñimiento frecuente, síntomas que se relacionan con la exposición a polvos, síntomas que son parecidos a los causados por estrés o enfermedades psicosomáticas, que están impactando o que pueden reflejarse en el aparato digestivo.

Sin embargo, solo se identificó un caso de dolor de cabeza y otro de desmayo y ninguno de los trabajadores reporta algún otro síntoma que se relacione con afectación al sistema nervioso, por lo que no existe relación significativa que pueda asociar los problemas digestivos con situaciones de adaptación al trabajo, debido a que los trabajadores no reportan síntomas relacionados con afectaciones al sistema nervioso, ni otros síntomas relacionados con ese tipo de estrés, tales como desasosiego, estados depresivos o de irritación, etc., es más probable que los síntomas que se identificaron se asocien con la afectación al aparato auditivo, debido a que el 12% de los trabajadores reportó afectaciones en el sistema auditivo.

Se identificó que estos casos representan un porcentaje considerable con respecto a la población total, dado que la irritación de ojos representa el 38%, las afecciones en la garganta (irritación) en el 35%, 23% de los casos reportaron problemas digestivos y de nariz respectivamente, 19% con afecciones en laringe

Las patologías identificadas se presentaron en trabajadores de menos de 30 años, con algunos meses de antigüedad, así como en trabajadores con más de 50 años y más de 15 años de antigüedad, estos últimos presentaron un cuadro clínico más complejo. Sin embargo, cabe señalar que estos síntomas se observaron en personal que tiene menos de un año laborando, por lo que en el análisis de varianza no se identificó una relación de la antigüedad con los síntomas. Así mismo, al realizar el análisis de varianza de la población expuesta con respecto a las enfermedades, se identificó que existe una relación entre la exposición y los siguientes síntomas: diarrea, problemas digestivos y afecciones en nariz, aparato auditivo, laringe, garganta y ojos, misma que aparentemente se debe al mal uso del equipo de protección.

La amenaza por emisión de polvos producto de la trituración de roca en la PPAC, ocasionará consecuencias a la salud y a la vida muy serias, debido a que existe la probabilidad de que se presenten algunos muertos (menos de 20 %), varios lesionados serios (>20 %) y menos de 50% evacuados, por lo que se determinó un puntaje de 4. Se determinó que una mayor probabilidad de que se produzca contaminación simple con efectos diseminados, por lo que las consecuencias al ambiente se clasificaron como serias, con un puntaje de 3.

Los costos por la afectación al inmueble de la PPAC, se calcula que será mayor del 5% y hasta un 20% del valor total, por lo que se identificó que las consecuencias a la propiedad serán limitadas, por lo que el puntaje será 2. Se identificó que la velocidad de manifestación de la amenaza provoca efectos sin advertencia, dado que la exposición a polvos puede producir enfermedades crónicas (neumoconiosis) que afecten el sistema respiratorio inferior (pulmones), pero solo se observaron afectaciones a las vías respiratorias superiores, ojos, oído y aparato digestivo, producto de la emisión de polvos generados por la trituración de roca, lo que denota que los efectos de la amenaza permanecen ocultos hasta que están totalmente manifiestos, con lo que se determinó un puntaje de 5. Sin embargo, por las patologías observadas y por los niveles de concentración de polvos, se consideró que puede ocurrir más de una vez por año, por lo que se clasificó como muy probable la ocurrencia de esta amenaza, con lo que se identifica un puntaje de 5.

Con lo anterior se identificó que la amenaza a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca presenta un nivel ligeramente alto (4), debido a que se identificó una contaminación simple con efectos diseminados por lo que sus consecuencias al ambiente se consideran serias, sin embargo, la amenaza puede llegar a tener un nivel alto debido a que su ocurrencia es muy probable y sus efectos son ocultos, debido a que se pueden confundir con los síntomas de resfriado u otras afectaciones a las vías respiratorias altas por lo que pasan sin advertencia., se puede incrementar considerablemente si existen condiciones como: mala ventilación, áreas de trabajo cerradas y el calor; así mismo, al exponer regularmente a los trabajadores a altas concentraciones de polvos se puede aumentar el riesgo de enfermedades pulmonares como enfisema, bronquitis crónica, asma bronquial y otras afecciones respiratorias.

El riesgo para los trabajadores expuestos a polvo, se incrementó por el inadecuado uso del equipo de protección y la falta de implementación de medidas de seguridad e higiene en el centro de trabajo. Con lo anterior, se determinó el riesgo a la salud por la emisión del polvo generado en el proceso de trituración de roca en la PPAC es alto, pero puede ser mitigado con la implementación de medidas encaminadas a la mitigación de las emisiones de polvo a la atmósfera y el correcto uso del equipo de protección.

## CAPÍTULO 10. RECOMENDACIONES.

Para controlar y prevenir el riesgo por emisión de polvos provenientes de una PPAC, se recomienda:

1. Realizar un modelo de dispersión de polvos, en este caso durante la etapa de operación del proyecto, pero es preferible que se considere desde la etapa de diseño del proyecto y previo al establecimiento de la PPAC.
2. Identificar la totalidad de las fuentes de emisión, tanto fijas como móviles, principalmente el tráfico de vehículos, e incluirlas en el establecimiento de medidas para el control de la contaminación por polvos.
3. Implementar estrategias que incluyan la instalación de dispositivos para el control y la reducción de emisiones de polvos.
4. Proteger el aparato respiratorio, mediante un procedimiento que se consideren las condiciones de exposición a polvos, tales como proximidad con los puntos de alta concentración, existencia o falta de oxígeno, etc.; así como las posibilidades de cada trabajador de utilización del equipo de protección. Reducir y evitar al máximo los factores que incrementan la susceptibilidad de la población expuesta.

El Instituto Nacional del Corazón, el Pulmón y la Sangre (National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI, por sus siglas en inglés), recomienda varias medidas preventivas, entre las que se incluyen las siguientes:

- No fumar. Fumar puede aumentar el riesgo de padecer una enfermedad laboral pulmonar.
- Evitar inhalar las sustancias producen daños a las vías respiratorias, a través del buen uso de los equipo y dispositivos de protección adecuados, como por ejemplo mascarillas, tapabocas, etc.).
- Evaluar la función del pulmón mediante una espirometría (una evaluación de la función del pulmón que se realiza en el consultorio del médico) con la frecuencia que su médico le aconseje para familiarizarse con la función de su pulmón.
- Educar a los trabajadores sobre los riesgos de enfermedad del pulmón.
- Contratar a un experto en salud laboral para que investigue el ambiente en el lugar de trabajo en busca de riesgos de enfermedad laboral de los pulmones.
- Los trabajadores deben estar capacitados para reconocer el riesgo potencial al que están expuestos, así como para implementar correctamente los procedimientos de operación y uso del Equipo de Protección Personal.



- Los patrones deberán capacitar a los trabajadores a su ingreso al Centro de Trabajo, de manera constante por lo menos una vez al año, utilizando los medios de difusión pertinentes (carteles, tarjetas, audiovisuales, etc.).
- Elegir el equipo de protección personal que debe usar el trabajador normalmente y/o en caso de emergencia, de acuerdo con la ruta de acceso de los polvos:

RUTAS DE ACCESO	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL
Contacto con ojos	Lentes de seguridad, anteojos de seguridad (llamados gafas), pantalla facial, etc.
Inhalación	Respiradores, purificadores de aire y respiradores con suministro de aire.

- Elaborar un programa de comunicación de riesgos para en el centro de trabajo, en el que se incluya el adecuado uso del Equipo de Protección Personal para minimizar la exposición a polvos en los procedimientos de operación.
- Implementar un programa de comunicación, mediante el cual se informe y se cree conciencia acerca de comportamientos riesgosos y sus consecuencias, a fin de influenciar el comportamiento complejo y persistente de los trabajadores para que cesen estos comportamientos.
- Proporcionar apoyo interpersonal y reforzamiento para cambio de comportamiento a través de organizaciones comunitarias.

12. Darío y O.; Cardona, A., 1992. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. II Simposio Latinoamericano de riesgo Geológico Urbano. Colombia.
13. Dirección General de Protección Civil, 1991, Atlas Nacional de Riesgos, Secretaría de Gobernación. México.
14. Galassi, C., et all., 1991. Exposure to PM<sub>10</sub> in the Eight Major Italian Cities and Quantification of the Health Effects.
15. Glynn Henry, J., Gary W. Heinke. 1999. Ingeniería Ambiental. 2ª Edición. Ed. Prentice Hall. México.
16. Gobierno de España, 1995. Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, España.
17. Gobierno del Estado de Jalisco, 1992. Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, Explotación de Bancos de Material Geológico, Yacimientos Pétreos y de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera generada por Fuentes Fijas en el Estado de Jalisco. <http://semades.jalisco.gob.mx/>. México.
18. Gobierno del Estado de México, 2005. Secretaría de Ecología. Diagnóstico de la Calidad del aire. <http://www.edomex.gob.mx/se/contamin.htm>, México.
19. Groulier, 1983. Enciclopedia de las ciencias, vol. 4, 6ª edición. Editorial Cumbre, S.A. México.
20. Gutiérrez H., Romieu I., Corey G., Fortoul T. Contaminación del aire. Riesgos para la salud. Ed. Manual Moderno, S.A. DE C. V., México, 1997.
21. H. Ayuntamiento de Tonalá, Jalisco, 2002. Programa Municipal de Desarrollo Urbano 1995-2000. México.
22. Hernández-Cadena L., Téllez-Rojo M. M., et. al., 2000. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. Salud Pública, México.
23. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1992. Anuario Estadístico del Estado de Jalisco. México.
24. INEGI, 1996. 1er. Informe del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas [http://www.ine.gob.mx/dggia/cal\\_aire/reporte/capi-8.html](http://www.ine.gob.mx/dggia/cal_aire/reporte/capi-8.html). México.

25. INEGI, 1999 Aspectos económicos de Jalisco. Características seleccionadas de la industria de la construcción. <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/fjal.html>. México.
26. INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2000. Resultados de XII Censo General de Población y Vivienda. <http://www.inegi.gob.mx>. México.
27. INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2000. Estadísticas sociodemográficas de los asentamientos humanos en Jalisco. [http://www.inegi.gob.mx/estadistica/espanol/sociodem/asentamientos/ase\\_03.html](http://www.inegi.gob.mx/estadistica/espanol/sociodem/asentamientos/ase_03.html). México.
28. INEGI, 2000. Indicadores económicos de coyuntura para Jalisco. Valor total de la producción, de las compras y consumo de materiales en las empresas afiliadas a la cámara mexicana de la industria de la construcción <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/fjal.html>. México.
29. IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social), 2003. Programa Estratégico de Salud en el Trabajo. Dirección de Prestaciones Médicas Coordinación de Salud en el Trabajo. <http://www.geocities.com/HotSprings/Oasis/8618/index.html>. México.
30. Jean Elizabeth Michel, 1986. La contaminación atmosférica y la salud. Cuaderno 19 de divulgación. Universidad de Guadalajara, ciencias Sociales y Humanidades. México.
31. Klaassen, Curtis D., Watkins III, John B., 2000. Manual de toxicología. Quinta edición. Casarett & Doull. Mac Graw Hill. México.
32. Kopplin, M., 2001. Toxicología Ambiental. Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. The University of Arizona. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c3-1-2.html>. Arizona.
33. López Espinosa G., Robaina Aguirre, C., et. all. Evaluación del aparato respiratorio en trabajadores expuestos a polvo del mineral zeolita.
34. Microsoft Corporation, 2000. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 1993-1999. Enfermedades laborales y ambientales. México.
35. Miller, Tiller G., 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C. V. México.
36. NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences), 2001. Enfermedades provocadas por el ambiente de A la Z. [\\*http://www.niehs.nih.gov/external/espanol/a2z/prt-home.htm](http://www.niehs.nih.gov/external/espanol/a2z/prt-home.htm). México.

37. Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, 1991. Identificación y manejo de asentamientos humanos en zonas de riesgo. Colombia.
38. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), 1989. Concientización y preparación para emergencia a nivel local; un proceso para responder a los accidentes tecnológicos. Departamento para la Industria y el Medio Ambiente. Paris.
39. PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente), 2004. Página del conocimiento. Los efectos de la contaminación del aire. <http://www.profepa.gob.mx/>. México.
40. RIM Jalisco (Red de Información Municipal, Jalisco), 2003 Información General de Jalisco. <http://ineser.cucea.udg.mx/rimjalisco/InformaGeneral.html>. México.
41. RIM Jalisco (Red de Información Municipal, Jalisco), 1993. Minería No Metálica. <http://ineser.cucea.udg.mx/rimjalisco/LinSecundaria/Ordenamiento/NoMetalica/MunMediaNoMetalica.htm>. México.
42. Romero, G. A., Maskrey, A., 1983. Como entender los desastres naturales. Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). Perú, 1983. En MASKREY, A.. Los Desastres no son naturales. Tercer Mundo Editores. Colombia.
43. SSA (Secretaría de Salud), 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-048-SSA1-1993, que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales. <http://www.ssa.gob.mx/nom/048ssa13.html>. México.
44. SSA, 2001. Boletín Epidemiológico Semana 05 (del 28 de enero al 03 de febrero del 2001). Casos nuevos de enfermedades de notificación semanal. <http://www.ssa.gob.mx/epide/2001/sem05/cua2.html>. México.
45. Secretaría de Gobernación, 1993. Guía técnica para la implementación del Plan Municipal de Contingencias. México.
46. Secretaría de Promoción Económica del Gobierno del Estado de Jalisco, 1993. Cédula de Información básica del Estado de Jalisco, Secretaría de Promoción Económica del Gobierno del Estado. México.
47. Secretaría de Salud, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, y el procedimiento para la calibración de equipos de medición. México.

48. Secretaría de Salud, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1/1993, que establece el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las P. S. T., así como el valor permisible para la concentración de P. S. T. en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. México.
49. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 1999. Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1993, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. México.
50. SEMADES (Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable), 2004. Gaceta Ambiental SEMADES. Gestión Ambiental Institucional, Explotación de Bancos de Material Geológico, Evaluación de Proyectos. Gaceta Electrónica de Difusión Ambiental, Julio de 2004. <http://www.semades.jalisco.gob.mx>. México.
51. SEMADES, 2005. Información Ambiental Específica. <http://www.semades.jalisco.gob.mx>. México.
52. SEMADES (Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable), 2001. Red de monitoreo atmosférico de la Zona Metropolitana de Guadalajara. <http://www.semades.jalisco.gob.mx>. México.
53. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 1998. Estadísticas Laborales de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México.
54. Strauss, W. y Mainwaring, S. J., 1990. Contaminación del aire. Efectos y soluciones. Ed. Trillas. Departamento de Ciencias Industriales. Universidad de Melbourne. México.
55. Secretaría de Salud, 1993. Manual de toxicología. Dirección de Salud Ambiental, Subsecretaría de Regulación y Fomento Sanitario. México.
56. Sistema Estatal de Protección Civil en Baja California. Clasificación de Riesgos. <http://www.depcbc.gob.mx/anexo1.htm#riesgos>
57. STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social), 1998. Estadísticas laborales de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. <http://www.stps.gob.mx>. México.
58. Universidad de Guadalajara, 1994. Atlas de Riesgos de la zona Metropolitana de Guadalajara, Coordinación General de Ecología y Educación Ambiental. México.

59. U de G (Universidad de Guadalajara), 1997. Manifiesto de Impacto Ambiental, modalidad general, Planta la Piedrera, Municipio de Tonalá, Jalisco. México.
60. U de G, 1999. Minería, Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco, México.
61. Universidad Peruana Cayetanoheredia, 1997. Salud Ambiental. Guía para el primer nivel de atención. Proyecto Atención Primaria de Salud en la Región Loreto Dirección Regional de Salud Loreto, Ministerio de Salud. Red Barnet (Dinamarca). <http://media.payson.tulane.edu:8086/spanish/aps/aps14s/ch03.htm>. Perú.
62. Villa-Cepeda, I., A. y Sánchez-Vizcaíno P. M., 2000. Tolerancia al esfuerzo en trabajadores expuestos a polvos inorgánicos. Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 1-2000, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.